ou, multiplicando por $\frac{v^2}{p}$:

$$v^3 - b v^2 + \frac{a v}{p} - \frac{a b}{p} = \frac{R T v^2}{p}$$

donde:

$$v^3 - \left(b + \frac{R T}{p}\right) v^2 + \frac{a}{p} v - \frac{a b}{p} = 0 \quad \text{(I-4)}$$

A equação de van der Waals é uma equação do 3.º grau, em relação a v. Ela admite, portanto, 3 raízes. No respeitante à natureza dessas raízes, demonstra-se que:

1.º — Abaixo de uma certa temperatura T, essas raízes são reais e diferentes.

2.º — A essa temperatura T, as raízes são reais e iguais.

3.º — Acima dessa temperatura T, duas raízes são imaginárias, havendo só uma raiz real.

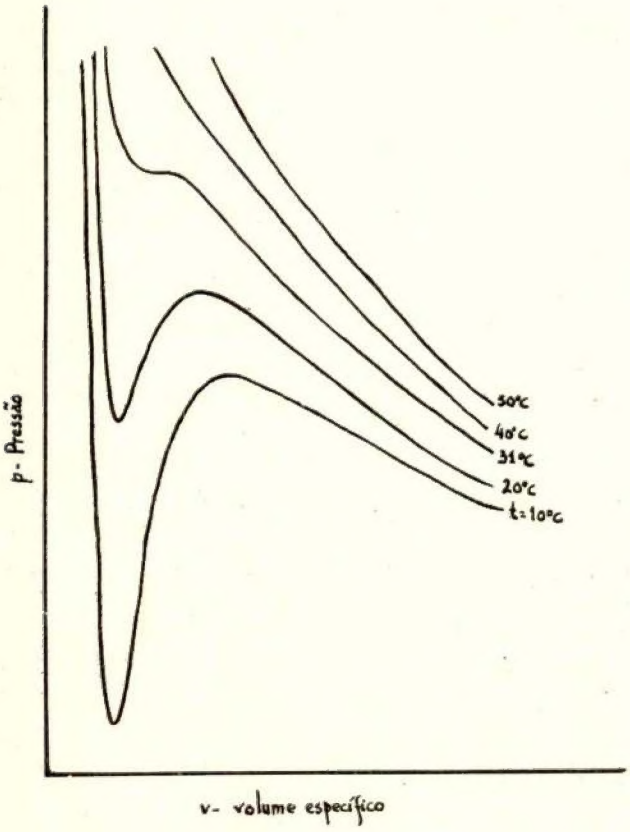


Fig. 2

O andamento das isotérmicas, no diagrama p — v, apresenta, de acordo com essa equação, o aspecto indicado na fig. 2. Para temperaturas inferiores a essa temperatura T, a isotérmica é cortada em 3 pontos por uma paralela ao eixo dos abscissas. Note-se que, desses 3 valores, só o maior e o menor correspondem a estados estáveis. Na verdade, para a ponto médio, a um aumento de pressão corresponde um aumento de volume.

Os factos apresentados mostram que, de certo modo, a equação de van der Waals está em concordância com os trabalhos de Andrews. A temperatura T à qual as 3 raízes são iguais é a temperatura crítica. Então, atendendo às condições que se verificam no ponto crítico, é possível determinar as constantes dessa equação em função dos valores críticos. Na verdade, a equação de van der Waals pode escrever-se:

$$p = \frac{R T}{v - b} - \frac{a}{v^2} \quad \text{(I-5)}$$

donde

$$\left(\frac{\partial p}{\partial v}\right)_T = -\frac{R T}{(v-b)^2} + \frac{2 a}{v^3} \quad \text{(I-6)}$$

e

$$\left(\frac{\partial^2 p}{\partial v^2}\right)_T = \frac{2 R T}{(v-b)^3} - \frac{6 a}{v^4} \quad \text{(I-7)}$$

Como para o ponto crítico estes valores são nulos, vem

$$\frac{R T_c}{(v_c - b)^2} = \frac{2 a}{v_c^3} \quad \text{(I-8)}$$

e

$$\frac{2 R T_c}{(v_c - b)^3} = \frac{6 a}{v_c^4} \quad \text{(I-9)}$$

Dividindo, termo a termo, as equações (I-9) e (I-8), resulta:

$$\frac{2}{v_c - b} = \frac{3}{v_c}$$

ou

$$V_c = 3 b \quad \text{(I-10)}$$

Substituindo este valor na equação (I-8), vem:

$$a = \frac{27 b R T_c}{8} \quad \text{(I-11)}$$

Então da equação de van der Waals referida ao ponto crítico:

$$\left(p_c + \frac{a}{v_c^2}\right)(v_c - b) = R T_c$$

e atendendo às equações (I-10) e (I-11), resulta:

$$\left(p_e + \frac{27\, b\, R\, T_c}{8 \times 9\, b^2}\right) \times 2\, b = R\, T_c$$

donde

$$b = \frac{R\, T_c}{8\, p_c} \qquad \text{(I-12)}$$

Substituindo este valor na equação (I-11), obtém-se:

$$a = \frac{27\, R^2\, T_c^2}{64\, p_c} \qquad \text{(I-13)}$$

Note-se que, em face da equação de van der Waals, a razão crítica, isto é, a relacção:

$$r_c = \frac{R\, T_c}{p_c\, v_c} \qquad \text{(I-14)}$$

têm um valor constante e independente da natureza do gás. Na verdade, das equações (I-10) e (I-12), resulta:

$$r_c = \frac{8 \,.\, b \,.\, p_c}{p_c \,.\, 3\, b}$$

$$= \frac{8}{3}$$

$$= 2{,}67 \qquad \text{(I-15)}$$

Este resultado não é confirmado pela experiência. O valor de r_c não só é mais elevado como não é constante; o seu valor varia entre 3,28 (para o hidrogénio) e 4,55 (para o metanol), considerando-se como 3,8 o valor médio.

I-3] *Lei dos Estados Correspondentes (van der Waals)*

Em coordenadas reduzidas, isto é, em termos de pressão reduzida p_R, temperatura reduzida T_R e volume reduzido v_R, definidos pelas relações:

$$p_R = \frac{p}{p_c}$$

$$T_R = \frac{T}{T_c} \qquad \text{(I-16)}$$

$$v_R = \frac{v}{v_c}$$

a equação de van der Waals escreve-se:

$$\left(p_R\, p_c + \frac{a}{v_R^2 \,.\, v_c^2}\right)(v_R\, v_c - b) = R\, T_R\, T_c \qquad \text{(I-17)}$$

ou, atendendo aos valores de *a* e de *b*:

$$a = \frac{27\, R^2\, T_c^2}{64\, p_c}$$

$$b = \frac{R\, T_c}{p_c}$$

vem:

$$\left(p_R\, p_c + \frac{27\, p_c}{64\, v_R^2} \cdot \frac{R^2\, T_c^2}{v_c^2\, p_c^2}\right)\left(v_R\, v_c - \frac{R\, T_c}{8\, p_c}\right) =$$

$$= R\, T_R\, T_c$$

Como:

$$r_c = \frac{R\, T_c}{p_c\, v_c} = \frac{8}{3}$$

vem finalmente:

$$\left(p_R + \frac{3}{v_R^2}\right)(3\, v_R - 1) = 8\, T_R \text{ (1)} \qquad \text{(I-18)}$$

Esta equação mostra que, em coordenadas reduzidas, a equação de estado é a mesma para todos os gases. Nomeadamente, o volume reduzido V_R é apenas função da temperatura reduzida e da pressão reduzida. Chamando estados correspondentes de 2 (ou mais) gases àqueles a que corresponde o mesmo valor de p_R e de T_R, essa equação mostra que o valor do volume reduzido é igual para estados correspondentes desses dois (ou mais) gases. Tal é o enunciado da chamada lei dos estados correspondentes. Note-se que a legitimidade desta lei não depende, como poderá parecer, da legitimidade da equação de van der Waals. Na verdade, para qualquer equação de estado com duas constantes arbitrárias (2), é possível determinar as constantes em função dos valores críticos e, consequentemente, deduzir que:

$$V_R = f\,(p_R\, T_R)$$

(1) Esta equação é corrente no estudo da compressão de gases. Vidè, por exemplo «The physical principles of Gas Liquefaction and Low Temperature Liquefaction» — M. Davies.

(2) Exclui-se a constante R dos gases perfeitos.

O próprio van der Waals reconheceu que o campo de aplicação desta lei é mais amplo que o da sua equação. A atenção dos investigadores foi, por isso, dirigida no sentido de obter equações de estado cujas constantes podessem ser determinadas a partir dos valores críticos.

I-4) *Formas modificadas da lei dos estados correspondentes*

Entre as diferentes equações de estado dos gases reais, a mais utilizada nos cálculos técnicos é, como se sabe, a seguinte :

$$p\,v = z\,R\,T \qquad \text{(I-19)}$$

em que o factor de compressibilidade z depende da pressão, da temperatura e da natureza do gás. Essa equação, em coordenadas reduzidas, escreve-se :

$$p_R \cdot p_c \cdot v_R \cdot v_c = z \cdot T_R \cdot T_c$$

ou

$$p_R \cdot v_R = z \cdot r_c \cdot T_R \qquad \text{(I-20)}$$

Então de acordo com a lei dos estados correspondentes, o factor :

$$z \cdot r_c$$

deve ser uma função universal de p_R e T_R . Como o valor de r_c é sensìvelmente o mesmo para todos os gases, admitiu-se que o factor de compressibilidade é uma função universal de p_R e T_R . Por isso, diversos investigadores procuraram traçar diagramas nos quais o valor de z é representado em função de p_R , para valores de T_R ; por outras palavras, diagramas em que os isotérmicas reduzidas são representadas no plano $z - p_R$. Tais diagramas são apelidados diagramas de compressibilidade. O seu traçado, a partir de valores experimentais. mostra que o andamento das isotérmicas reduzidas é sensìvelmente o mesmo para todos os gases. Então, não sendo o valor de r_c constante, torna-se necessário — como salientou G. Jen Su — modificar a lei dos estados correspondentes. Vejamos em que condições se pode afirmar ser :

$$z = f\,(p_R \cdot T_R) \qquad \text{(1-21)}$$

Nestas condições, o produto :

$$z \times \frac{T_R}{p_R}$$

é também uma função uinersal de p_R e de T_R . Mas :

$$z \cdot \frac{T_R}{p_R} = z \cdot \frac{T}{T_c} \cdot \frac{p_c}{p}$$

$$= \frac{z\,R\,T}{p} \cdot \frac{p_c}{R\,T_c}$$

Ora :

$$\frac{z\,R\,T}{p} = v$$

Então, fazendo :

$$\frac{T_c}{p_c} = v_{ci} \qquad \text{(I-22)}$$

vem :

$$z \cdot \frac{T_R}{p_R} = \frac{v}{v_{ci}}$$

donde :

$$\frac{v}{v_{ci}} = f\,(p_R\,T_R) \qquad \text{(I-23)}$$

Quer dizer, sendo z uma função universal de p_R e T_T , não é o volume reduzido mas a relação que figura no 1.º membro da igualdade (I-23) função universal de p_R e T_R . Note-se que v_{ci} representa o volume dum gás perfeito à pressão p_c e temperatura T_c ; dá-se-lhe, por isso, o nome de volume crítico ideal. Consequentemente, à relação

$$\frac{v}{v_{ci}} = v_{Ri}$$

dá-se o nome de volume reduzido ideal.

Nestas condições, a lei dos estados correspondentes diz que o volume reduzido ideal é uma função universal de p_R e T_R . É esta a forma modificada proposta por G. Jen Su. Como salientou este autor, a lei falha no ponto crítico. Neste ponto, a equação (I-19) escreve-se :

$$z_c = \frac{p_c\,v_c}{R\,T_c} = \frac{1}{r_c} \qquad \text{(I-25)}$$

e, como vimos, r_c não é constante. Com a equação (I-25) e com o facto dos diagramas de compressibilidade dependerem da natureza dos gases que servem de base ao seu traçado, parece poder evitar-se a modificação de G. Su. A principal

vantagem dessa modificação resulta do facto de dispensar o conhecimento do valor do volume crítico o que é importante pois na maioria dos casos, embora se conheça o valor de p_c e de T_c, ou se desconhece o valor de V_c ou se conhece afectado dum erro muito elevado.

Outras formas modificadas desta lei têm sido propostas. Entre estas, faz-se apenas referência à forma proposta por W. Edmister. Como se sabe, G. N. Lewis e Randall definiram o volume residual α pela expressão:

$$\alpha = \frac{R\,T}{p} - v \qquad \text{(I-26)}$$

isto é, pela diferença entre os volumes ocupados por um gás perfeito e um gás real, nas mesmas condições de pressão e temperatura. O volume residual α é função da pressão, da temperatura e da natureza do gás. Sendo α_c o seu valor no ponto crítico:

$$\alpha_c = \frac{R\,T_c}{p_c} - v_c \qquad \text{(I-27)}$$

$$= v_{ci} - v_c \qquad \text{(I-28)}$$

o valor reduzido α_R do volume residual é:

$$\alpha_R = \frac{\alpha}{\alpha_c}$$

$$= \frac{\dfrac{R\,T}{p} - v}{\dfrac{R\,T_c}{p_c} - v_c} = \frac{\dfrac{R\,T}{p}(1-z)}{\dfrac{R\,T_c}{p_c}(1-z_c)}$$

$$= \frac{T_R}{p_R} \cdot \frac{1-z}{1-z_c} \qquad \text{(I-29)}$$

Edmister admitiu que α_r é uma função universal de p_R e T_R, isto é, o valor de α_R é o mesmo para estados correspondentes de dois ou mais gases. Note-se que este enunciado é equivalente (equação I-29) a afirmar que a relação

$$\frac{1-z}{1-z_c}$$

é uma função universal de p_R e T_R. De certo modo, esta afirmação já havia sido anteriormente feita por Woolsey. Na verdade, este autor havia verificado que as isotérmicas da função F, definida pela expressão:

$$F = \frac{(1-r_o)\,(z-1)}{(z_c-1)} + r, \qquad \text{(I-30)}$$

$$(r_o \ldots \text{constante})$$

traçadas em função de p_R, para diferentes substâncias, são curvas que, coincidindo nos pontos $p_R = 0$ e $p_R = 1$, pouco se afastam para os outros pontos. Quer dizer, Woolsey havia descoberto a função universal de p_R e T_R. No entanto, a equação (I-30) pode escrever-se:

$$\frac{F - r_o}{1 - r_o} = \frac{z-1}{z_c-1} \qquad \text{(1-31)}$$

Então, sendo F uma função universal de p_R e T_R, o 2.º membro também é e, consequentemente, α_R é uma função universal de p_R e T_R. Edmister apresenta diagramas de α_R em função de p_R para diferentes valores de T_R.

2] Métodos Gráficos

De um modo geral, qualquer método gráfico consiste no traçado das isotérmicas de uma função $\varphi = f\,(p, v, T)$ num diagrama em que, como ordenadas, se consideram os valores dessa função e, como abscissas, os valores correspondentes da pressão. Os diferentes métodos gráficos podem classificar-se em duas categorias:

- aqueles que assentam em diagramas específiicos dum determinado gás;
- aqueles que se baseiam numa das formas modificadas da lei dos estados correspondentes (métodos generalizados).

Os primeiros são de maior confiança mas exigem o conhecimento de grande número de dados experimentais e só são aplicáveis naqueles casos em que esses dados são conhecidos. Os segundos têm a vantagem de exigirem pequeno número de dados experimentais mas não oferecem tanta confiança, sobretudo para aqueles gases cujas propriedades se afastam dos gases que serviram de base ao traçado desses diagramas generalizados. Entre estes, faz-se citação (em correspondência às formas modificadas da lei dos estados cor-

respondentes, que foram enunciados) aos dois seguintes:

— método dos diagramas de compressibilidade;
— método de Edmister.

II-1) *1.º Método Gráfico*

Este método foi largamente empregado por G. N. Lewis e outros investigadores na determinação dos valores das funções termodinâmicas de diferentes gases. Consiste no traçado, a partir de dados experimentais relativos a um determinado gás, das isotérmicas do volume residual α em função da pressão. Na figura 3, apresenta-se o gráfico de α em função de p, para uma temperatura T. A partir desse diagrama pode determinar-se, por cálculo gráfico, o valor das funções

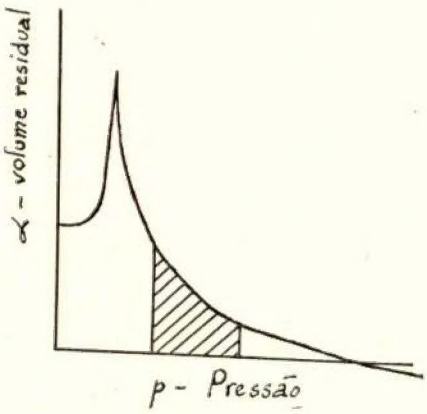


Fig. 3

termodinâmicas. Assim, por exemplo, o cálculo da variação da entalpia livre do gás a que se refere esse diagrama numa transformaçãa isotérmica, à temperatura T, da pressão p_1 à pressão p_2 calcula-se através da área da superfície representada a tracejado. Na verdade, sendo a entalpia livre a função característica correspondente às variáveis independentes p e T, a expressão que traduz a sua variação numa transformação elementar escreve-se:

$$\partial G = v \, \partial p - S \, \partial T \qquad \text{(II-1)}$$

Numa transformação isotérmica, vem:

$$\partial G_T = v \, \partial p \qquad \text{(II-2)}$$

Mas, como, por definição de volume residual, é:

$$\alpha = \frac{RT}{p} - v \qquad \text{(II-3)}$$

vem:

$$\partial G_T = \frac{RT}{p} \partial p - \alpha \, \partial p$$

ou integrando:

$$\Delta G_T = RT \log_e \frac{p_2}{p_1} - \int_{p_1}^{p_2} \alpha \, \partial p \qquad \text{(II-4)}$$

O integral que figura nesta equação (II-4) é, à escala, igual à área mencionada.

Uma variante deste método consiste no traçada da função β:

$$\beta = v \left(\frac{pv}{RT} - 1 \right)$$

em função de v, para valores constantes da temperatura.

II-1) *Método dos diagramas de compressibilidade*

Este é o método que tem sido mais largamente usado em cálculos técnicos. Baseia-se na forma modificada da lei dos estados correspondentes, de G. Jen Su. Note-se, que mesmo antes deste autor ter introduzido tal modificação, já diferentes investigadores utilizavam esse método, baseados na lei dos estados correspondentes de Van der Waals (1). Pràticamente, tal método foi, pela primeira vez, utilizado em 1931 quando Cope, W. Lewis e Weber (2) pretenderam correlacionar as propriedades termodinâmicas dos hidrocarbonetos por meio dum diagrama de compressibilidade, traçado com base nas equações de estado de Maissner e Kaizer. O enunciado de G. Su data de 1946 (3). Entre esses dois trabalhos, muitos investigadores fizeram a aplicação, embora de um modo implícito, dessa forma modificada. Entre esses trabalhos convém salientar o de B. Dodge (4), no qual o diagrama de compressibilidade é traçado a partir de dados experimentais. Neste trabalho B. Dodge mostra

(1) $z. r_c = f(p_R \, T_R)$.
(2) Ind. Eng. Ch. — 1931 — pág. 887/92.
(3) Ind. Eng. Ch. — 1946 — pág. 803/6.
(4) Ind. Eng. Ch. — 1932 — pág. 1353/63.

que o método não é restrito aos hidrocarbonetos mas de aplicação geral a todos os gases, dentro do campo de aplicação da lei dos estados correspondentes. Como a lei não é rigorosamente exacta, os diagramas de compressibilidade dos diferentes autores, diferem ligeiramente uns dos outros. Os mais aconselhados são:

— no intervalo $T_R = 1$ a $T_R = 2$, para pressões até $p_R = 5$, o diagrama de G. Su [1]
— fora desse intervalo o diagrama de B. Dodge, o qual se baseia em dados experimentais relativos a 22 gases. O autor apresenta o diagrama dividido em duas regiões, uma relativa ao intervalo $p_R = 0$ a $p_R = 10$ e outra ao intervalo $p_R = 10$ a $p_R = 50$ [2].

Mais modernamente, L. L. Nelson e E. C. Obert apresentaram [3] um diagrama de compressibilidade dividido em quatro regiões, cujo traçado se baseou em dados experimentais relativos a 30 gases. Para cada uma das regiões, os autores excluem a sua aplicação a determinado número de gases. Este facto salienta, mais uma vez, o carácter não geral da chamada lei dos estados correspondentes. Por isso, certos autores têm tentado determinar factores de correcção empíricos. Newton [4] já havia verificado que os valores da fugacidade do hidrogénio, do helio e do neon, determinados a partir dos diagramas generalizados, se afasta dos valores experimentais mas que uma boa concordância se obtém desde que se defina, para estes gases, a pressão e a temperatura reduzidas pelas expressões:

$$p_R = \frac{p}{p_c + 8} \qquad \text{(II-6)}$$

$$T_R = \frac{T}{T_c + 8} \qquad \text{(II-7)}$$

Estas correcções foram adoptadas posteriormente para esses gases quer para a determinação do factor de compressibilidade quer de qualquer propriedade termodinâmica, por meio dos diagramas generalizados. R, Morgen e J. Childs [1] generalizaram esse tratamento, tendo sugerido que, para todos os gases, se defina a pressão e temperatura reduzidas pelas expressões:

$$p_R = \frac{p}{p_c + p_f} \qquad \text{(II-8)}$$

$$T_R = \frac{T}{T_c + T_f} \qquad \text{(II-9)}$$

em que os factores correctivos p_T e T_f dependem apenas da temperatura reduzida. Esses autores verificaram que o afastamento dos valores experimentais em relação aos valores obtidos dos diagramas generalizados depende do valor da razão crítica r_c do gás em questão; os desvios verificados são de sentidos inversos consoante o valor da razão crítica da substância é maior ou menor que o da razão crítica das substâncias de referência. Em face dessa conclusão seria lógico não só fazer o traçado do diagrama de compressibilidade com base nos dados experimentais de um único gás mas ainda escolher para substância de referência aquela a que correspondesse o menor valor da razão crítica. Como por falta de dados experimentais, isso não fosse possível, esses autores tomaram, para substância de referência, o etileno a que corresponde o valor:

$$r_c = \frac{1}{z_c} = 3{,}58$$

e, nos pontos em que faltam dados experimentais sobre esse gás, o azoto a que corresponde o valor:

$$r_c = \frac{1}{z_c} = 3{,}43$$

Na figura 2 do citado artigo [2], os autores apresentam o diagrama de compressibilidade o qual cobre a região de $p_R = 0$ até $p_R = 10$, para valores de $T_R = 0{,}8$ a $T_R = 5$. Para a determinação dos factores correctivos, estes autores classificam os gases em 3 categorias:

— aqueles cujo valor de r_c é maior que 4
— aqueles cujo valor de r_c está compreendido entre 4 e 3,35
— aqueles cujo valor de r_c é inferior a 3,35.

(1) Ind. Eng. Ch. — 1946 — pág. 804 — fig. 1; «States of Matter» — edit, by H. Taylor and S. Glassetone — pág. 192 — fig. 3; Phys. Soc. — Reports on Progress of Physics — J. Beattie and H. Stockmayer — 1940 — pág. 195.
(2) «Chemical Engineering Thermodynamics» — Barnett Dodge — 1.ª edição — fig. V-2 e V-3 — pág. 161-162.
(3) Chem. Eng. — 1954 — Julho — pág. 203/8.
(4) Ind. Eng. Ch. — 1935 — pág. 302/6.

(1) Ind. Eng. Ch. — 1945 — pág. 667.
(2) Ind. Eng. Ch. — 1945 — pág. 668.

No 2.º caso ($4 > r_c > 3{,}35$) os factores correctivos são pràticamente nulos. Nos outros dois casos, determinam-se do modo a seguir apresentado.

a) $r_c > 4$.

O diagrama de correcção (1) consta de 2 rectas: uma positiva para valores de $T_R > 1$ e outra negativa para valores de $T_R < 1$. Esse gráfico permite determinar o valor de T_f em função de T_R^*, sendo:

$$T_R^* = \frac{T}{T_c + T_f}$$

A determiaação é feita por tentativas. O maior prático é arbitrar dois valores T_f e determinar os valores correspondentes do desvio Δ, em que:

$$\Delta = T_R^* - \frac{T}{T_c + T_f}$$

sendo T_R^* determinado por meio desse gráfico em função de T_f (arbitrado). Por interpolação ($\Delta = 0$), obtém-se o valor de T_f.

O valor numérico de p_f, expresso em atmosfera, é igual a metade do valor numérico de T_f, expresso em ºk.

b) $r_c < 3{,}35$

Os factores correctivos são desprezíveis no caso de $T_R < 1$.

No caso de $T_R > 1$, o gráfico da fig. 3 do citado artigo permite anàlogamente determinar T_f em função de T_R^*. O valor numérico de p_f, expresso em atmosfera, é ainda igual a metade do valor numérico de T_f, expresso em ºk.

Outra forma de correcção foi introduzida por H. Meissner e R. Seferian (2), através dos chamados diagramas de correlação. Estes autores, após uma discussão detalhada do metódo dos diagramas generalizados, consideram que a relação entre o factor de compressibilidade de um gás qualquer e o factor de compressibilidade da substância de referência, isto é, a relação:

$$\frac{z}{z_{ref}}$$

deve ser função da pressão reduzida, da temperatura reduzida e do valor de z_c do gás considerado. Consideram, por isso, um diagrama de compressibilidade com base em dados experimentais relativos a uma única substância e diagramas de correlação que permitem determinar o valor da relação $\frac{z}{z_{ref}}$, em função de p_R e T_R para diferentes valores de z_c.

Infelizmente, não há ainda dados suficientes que permitam ajuizar o interesse prático quer das correcções de R. Morgen e J. Childs quer das correcções de H. Meissner e R. Seferian.

Para um artigo futuro, para não alongar demasiado este, reserva-se a descrição da determinação das diferentes propriedades termodinâmicas, por meio dos diagramas generalizados.

II-3) *Método de Edmister*

Como já se viu, Edmister admitiu que, em coordenadas reduzidas, o volume residual é uma função universal da pressão e da temperatura reduzidas. De harmonia com essa hipótese Edmister apresentou (1) o diagrama σ_R, em função de p_R, para diferentes valores de T_R. A determinação das diferentes propriedades termodinâmicas é feita ou a partir desse diagrama ou a partir de diagramas, do tipo generalizado, apresentadas pelo autor (1). Assim, a equação de definição de volume residual:

$$\alpha = \frac{RT}{p} - v$$

escreve-se, em coordenadas reduzidas:

$$\alpha_R \sigma_c = \frac{R T_R}{p_R} \frac{T_c}{p_c} - v$$

donde:

$$\frac{v}{\alpha_c} = \frac{R T_c}{p_c \alpha_c} \cdot \frac{T_R}{p_R} - \sigma_R \qquad \text{(II-10)}$$

Esta equação e o diagrama de σ_R permitem determinar o valor de v, desde que se conheçam os valores críticos (2) do gás. Edmister salienta que, para 17 hidrocarbonetos, o valor da relação $\frac{R T_c}{p_c \alpha_c}$ é sensìvelmente constante. Na verdade, de acordo com os resultados experimentais relati-

(1) Ibid — fig. 4.

(2) Chem. Eng. Progress — 1951 Nov. — pág. 578.

(1) Ind. Eng. Ch. — 1938 — pág. 352.

(2) $\alpha_c = \frac{R T_c}{p_c} - V_c$

vos a esses 17 hidrocarbonetos o valor da relação está compreendida entre 1,347 e 1,382, considerando-se 1,37 como valor médio. No entanto, o metano e o etileno apresentam desvios maiores, verificando-se para estes gases, respectivamente, os valores: 1,406 e 1,410. Note-se, que afirmar a constância dessa relação é equivalente a afirmar que z_c é constante. Na verdade, atendendo a que:

$$\alpha_c = \frac{R\,T_c}{p_c} - v_c$$

resulta que:

$$\frac{R\,T_c}{p_c\,\alpha_c} = \frac{R\,T_c}{R\,T_c - p_c\,v_c}$$

$$= \frac{1}{1 - z_c}$$

Por outro lado, a equação (II-10) mostra que, de acordo com a forma modificada de Edmister, a relação $\frac{v}{\alpha_c}$ é só função de p_R e T_R. Ora, da eqnação de definição de de z_c, resulta que:

$$\frac{v}{\alpha_c} = \frac{z}{1 - z_c} \cdot \frac{T_R}{p_R} \qquad \text{(II-11)}$$

Desta equação, conclui-se que, sendo $\frac{V}{z_c}$ função apenas de p_R e T_R, o mesmo sucede à relação z/z_c. A forma modificada de Edmister degenera assim na forma de G. Su, com a correcção introduzida por Meissner e Seferian.

(Continua)

C. D. 537.2 : 66.074

LA CHARGE ÉLECTRIQUE DES PARTICULES DANS LES CHAMPS ÉLECTRIQUES IONISÉS

Application aux grands problèmes actuels de l'arrêt électrique des poussières, des fumées industrielles, des particules nocives en suspension dans les gaz et dans l'air

PAR LE PROF. PAUTHENIER

Conférence réalisée le 26 Avril 1954 à l'Institut Supérieur Technique

Avant d'arriver au problème fondamental de la purification électrique des gaz et à ses applications, nous rappellerons quelques propriétés des gaz conducteurs.

I. *Les gaz ionisés*

L'atome d'un gaz est à l'état normal électriquement neutre, ce qui veut dire que la somme des charges électriques élémentaires portées par les électrons qui gravitent autour du noyau positif central est égale et de signe contraire à la charge de ce noyau.

Mais dans de nombreuses circonstances, qui accompagnent un apport d'énergie extérieure, l'atome (ou la molécule) neutre peut perdre provisoirement un ou plusieurs électrons, ce qui donne un *ion positif*. Les électrons eux-mêmes peuvent ou bien rester plus ou moins longtemps à l'état libre, ou se fixer en surnombre sur un atome ou une molécule neutre : d'où l'existence des *ions négatifs* constitués pour tout ou partie par des électrons libres de très faible masse et qui seront en moyenne plus mobiles dans les champs électriques que les ions positifs. Les atomes ou molécules ionisés peuvent d'ailleurs annexer par attraction électrostatique une ou plusieurs molécules neutres du gaz ambiant.

Un gaz où se forment des ions positifs et négatifs devient conducteur dans un champ électrique.

Les causes d'ionisation des gaz sont nombreuses : les rayons X, ou les ultra-violets, qui correspondent à la circulation de *photons* de grande énergie, sont capables d'ioniser les gaz (décharge de l'électroscope) : c'est *l'effet photoélectrique des gaz.*

Les substances radioactives peuvent aussi ioniser les gaz ambiants, soit par l'action de leurs photons γ, soit par le bombardement des particules rapides α ou β qu'eles peuvent émettre (ionisation *par choc*). Ces phénomènes s'observent aisément avec la chambre à détente de Wilson.

Les gaz des flammes sont ionisés, donc électriquement conducteurs.

Enfin rappelons un phénomène pour nous fondamental : un fil fin ou une pointe, reliés par exemple à une source de haute tension positive ou négative se recouvrent d'une gaîne faiblement lumineuse, siège d'une ionisation par choc du gaz ambiant : *c'est l'effet couronne.* Le gaz devient conducteur ; il est parcouru par des ions de même signe que le fil et repoussés par lui.

Dans un très large domaine de valeurs du champ électrique E ambiant on peut admettre que les vitesses moyennes v , v_2 des ions positifs et négatifs sont proportionnelles au champ :

$$v_1 = k_1 E \qquad v_2 = k_2 E$$

Les coefficients k_1 et k_2 sont les *mobilités* des ions, ordinairement données par les tables pour des valeurs de v exprimées en cm/s et de E en volts/cm. Par exemple dans l'air ordinaire, k_1 et k_2 sont respectivement de l'ordre de 1,5 et 1,75 ; dans un champ de 3000 v/cm couramment réalisé dans les applications, la vitesse des ions négatifs est donc un peu supérieure à 50 m/s.

Dans les gaz à diverses pressions, on peut se rappeler que la mobilité des ions est sensiblement en raison inverse de la pression.

II. *Etude du champ cylindrique ionisé*

Les premiers appareils de purification électrique des gaz avaient (et ont encore dans certains cas) la forme extrêmement simple d'un cylindre métallique relié à la terre, dans l'axe duquel est tendu un fil fin et lisse (Cottrell) relié à une source de haute tension continue, ordinairement négative (quelques dizaines de milliers de volts par exemple). Comme nous venons de le signaler, le fil négatif se recouvre d'une gaîne lumineuse, ordinairement parsemée d'aigrettes, qui caractérise l'effet couronne (fig. 1). L'espace compris entre la gaîne lumineuse et le cylindre est parcouru par des ions négatifs animés de grandes vitesses. Cet espace cylindrique est obscur, ainsi que le cylindre lui-même, qui n'émet pas d'ions. La présence des ions négatifs dans l'espace cylindrique a pour effet de modifier la répartition du potentiel et par suite du champ électrique dans cet espace.

Fig. 1

On sait en effet que dans un espace vide de charges le potentiel est racine de l'équation de Laplace

$$\Delta V = 0 \qquad (1)$$

tandis que dans un espace chargé (à raison de (ρ ues cgs/cm^3) est donné par l'équation de Poisson

$$\Delta V + 4\pi \frac{\rho}{\varepsilon_0} = 0 \qquad (2)$$

(ε_0, coefficient de la loi de Coulomb $f = \frac{1}{\varepsilon_0}\frac{mm'}{r^2}$).

Par raison de symétrie, la charge d'espace ρ ne dépend que de l'abscisse radiale r du point P où le potentiel est V:

$$\rho = \rho\ (r)\ .$$

Il est facile d'expliciter l'équation (2). En effet d'une part, en coordonnées cylindriques, nous écrivons immédiatement ici

$$\Delta V = \frac{d^2 V}{d r^2} + \frac{1}{r}\frac{d V}{d r}\ .$$

D'autre part soit dr la distance radiale parcourue par les ions pendant le temps dt; en appelant i le courant émis par *un centimètre* de fil, la charge qui pénètre pendant le temps dt dans l'espace (r, r + dr) est

$$\rho\ .\ 2\pi r\ dr = i\ dt\ .$$

Donc

$$\rho = \frac{i}{2\pi r \frac{dr}{dt}} = \frac{i}{2\pi r k E} \qquad (3)$$

puisque le vitesse $\frac{dr}{dt}$ des ions en P est proportionnelle au champ E.

En remplaçant E par $-\frac{dr}{dt}$ dans l'équation de Poisson écrite dans le système ues cgs ($\varepsilon_0 = 1$), il vient l'équation du potentiel:

$$r\frac{d^2 V}{d r^2}\frac{d V}{dr} + \left(\frac{d V}{dr}\right)^2 - \frac{2 i}{k} = 0 \qquad (4)$$

ou, si l'on veut, celle du champ électrique E:

$$r E \frac{d E}{dr} + E^2 - \frac{2 i}{k} = 0 \qquad (5)$$

Le courant i émis par 1 cm du fil dans le cas expérimental choisi est une quantité connue, mesurée directement; la quantité $\frac{2 i}{k}$ est pour nous une constante expérimentale. On résout facilement l'équation (5) en utilisant le changement de variable $E^2 = u$, et, en désignant par C une constante d'intégration, on trouve:

$$E = \sqrt{\frac{2 i}{k} + \frac{C^2}{r^2}} \qquad (6)$$

où la constante C peut se déterminer par les conditions aux limites du potentiel.

On voit immédiatement que:

a) si $i = 0$ comme dans le condensateur cylindrique étudié en électrostatique,

$$E = \frac{c}{r} \qquad \text{(formule classique)};$$

b) *si i est grand* (cas des applications techniques) on peut, sauf au voisinage du fil où le champ trouvé est sans intérêt à cause de la gaîne, poser en valeur absolue:

$$\boxed{E = \sqrt{\frac{2 i}{k}}} \qquad (7)$$

formule donnée par J. J. Thomson.

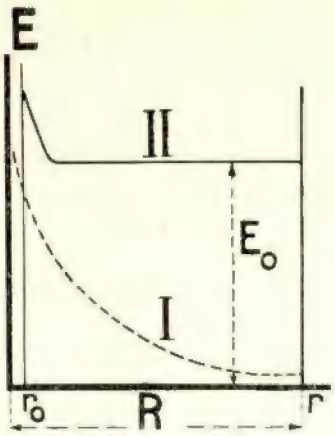


Fig. 2

Donc le champ de l'électrostatique est profondement modifié par la circulation des ions : au lieu du champ hyperbolique classique (I) on a dans presque tout l'espace cylindrique un champ radial constant (II) (fig. 2).

Contrôle expérimental. Aucune vérification expérimentale de la formule (7) n'ayant jamais été tentée, nous l'avons contrôlée expérimentalement au laboratoire par la méthode de *la sonde incandescente isolée.* (Cf références).

Les résultats représentés en particulier par la figure 3 se rapportent à un cylindre de rayon

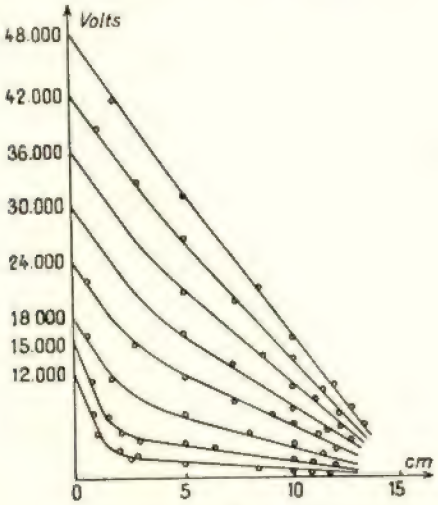


Fig. 3

intérieur $R = 15$ cm pourvu d'un fil axial de rayon $r = 0{,}0145$ cm auquel on applique des potentiels compris entre 12 kV et 48 kV. Le cylindre expérimental est, bien entendu, pourvu de deux cylindres de garde de même rayon. Le courant reçu par 1 cm du cylindre du milieu détermine le courant de la relation (7). Les *pentes* des courbes au point A d'abscisse R donnent les valeurs de E, qui vérifient bien la relation théorique (7).

III. *Etude théorique de la charge des particules sphériques dans un champ électrique ionisé.*

Une particule (supposée sphérique) abandonnée dans le champ cylindrique ionisé décrit précédemment reçoit *une pluie d'ions négatifs* qui tend à la charger négativement.

Mais a priori un autre processus de charge peut aussi intervenir : *l'agitation thermique* des ions et des particules elles-mêmes ; un ion peut se trouver lancé vers la particule déjà chargée avec une force vive suffisante pour vaincre la répulsion de Coulomb ; il arrive ainsi à une distance assez faible de son *image électrique* dans la particule pour être capté. La charge ainsi acquise n'a pas, en principe, de limite définie ; elle croît avec le temps, quoique la probabilité pour qu'un ion supplémentaire soit adsorbé diminue rapidement quand augmente la répulsion. Le calcul montre que ce phénomène ne prend une importance prépondérante que si la particule considérée est très petite (diamètre inférieur au micron).

Nous considérerons seulement des particules dont le diamètre est supérieur à cette limite, pour laquelle le rôle de l'agitation thermique des ions est négligeable. Le phénomène prépondérant est alors le mouvement d'ensemble des ions suivant les lignes de force du champ, c'est-à-dire suivant les rayons du cylindre. Nous avons d'abord refait avec précision la théorie de la charge des particules et contrôlè pour la première foi ses résultats.

Soit (fig, 4) une particule que nous supposerons *conductrice,* de rayon *a,* possédant une charge $+ Q$ (que nous supposons ici positive pour simplifier les question de signes) et placée dans un champ ionisé E. Etudions les forces qui s'exercent sur un ion positif de charge $+ e$ situé en un point A voisin. Le point A est défini par ses coordonnées polaires θ et $OA = a\ (1 + \nu)$; les phénomènes intéressants se produisent pour d'assez petites valeurs de $\nu > 0$.

a) Le champ E exerce sur l'ion une force (I) de module Ee et dont la composante radiale (projection sur OA) est :

$$- E\, e \cos \theta \quad \text{[projection de la force (1)]}$$

b) L'inégale répartition des charges sur la sphère influencée par le champ E en fait un *doublet*. La composante radiale (*) de la force qui agit sur l'ion + e situé en A est

$$-\frac{2\,E\,e\cos\theta}{(1+\nu)^3}\ \text{[projection de la force (2)]}$$

c) *La répulsion de Coulomb* due à la charge déjà acquise par la particule donne la composante radiale

$$\frac{e\,Q}{a^2(1+\nu)^2}\qquad\text{[force (3)]}$$

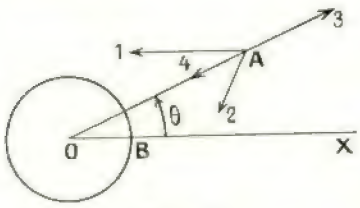


Fig. 4

d) Enfin *l'image électrique* de A par rapport à la sphère, située en son conjugué A', exerce sur A une attraction suffisamment exprimée par

$$\frac{-e^2}{4\,a^2\,\nu^2}\qquad\text{[force (4)]}$$

---

* Rappelons brièvement des résultats classiques, nécessaires à la bonne compréhension du calcul.

Pour trouver la distribution électrique sur une sphère conductrice influencée par un champ E, on imagine (fig. 5) un glissement $\overline{O_2\,O_1} = \varepsilon$ parallèle à E de 2 sphères primitivement en coïncidence et contenant une distribution électrique $\pm\,\delta$ en volume.

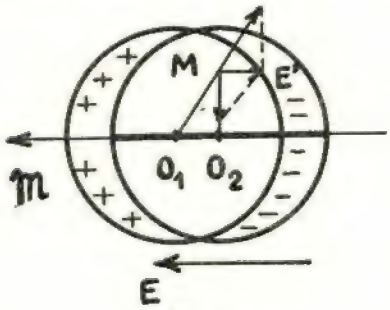


Fig. 5

De ce glissement résultent suivant MO_1, MO_2 à des distances r_1, r_2 de O_1, O_2, des composantes de champ

$$-\frac{4}{3}\pi\frac{r_1^3\,\delta}{r_1^2} = -\frac{4}{3}\pi\,r_1\,\delta \quad\text{et}\quad +\frac{4}{3}\pi\,r_2\,\delta$$

dont la résultante parallèle à $\overline{O_1\,O_2}$, est $E' = \frac{4}{3}\pi\,\varepsilon\,\delta$ par raison de similitude.

Ici nous simplifions le calcul en remplaçant la sphère par son plan tangent, ce qui revient à placer une charge — e en A' symétrique de A par rapport à ce plan. Cette approximation est légitime parce que la force d'image n'est appréciable qu'à une distance de la surface très petite devant le rayon de la sphère.

Pour que l'ion en A, *s'approche* de la sphère, il faut que la somme des composantes suivant le rayon vecteur $\overline{OA}$ soit négative:

$$X = -E\,e\cos\theta\left[1+\frac{2}{(1+\nu)^3}\right] + \frac{e\,Q}{a^2(1+\nu)^2} - \frac{e^2}{4\,a^2\,\nu^2} < 0\,. \qquad (8)$$

Le phénomène est de révolution autour de la direction du champ. Les régions où la force X est répulsive sont séparées de celles où elle est attractive por une surface dont la méridienne correspond à X = O, et dépend de la charge déjà acquise Q.

Mais le champ est nul en tout point M d'un conducteur, ce qui nécessite $E' = -E$, d'où

$$\varepsilon\,\delta = \frac{3\,E}{4\,\pi}\,.$$

Or la charge de chacune des 2 sphères est $q = \frac{4}{3}\pi\,a^3\,\delta$ et leur ensemble constitue un doublet de longueur $\overline{O_1\,O_2}$ et de moment

$$\vec{m} = q\,\varepsilon = \frac{4}{3}\pi\,a^3\,\delta\,\varepsilon = \vec{E}\,a^3$$

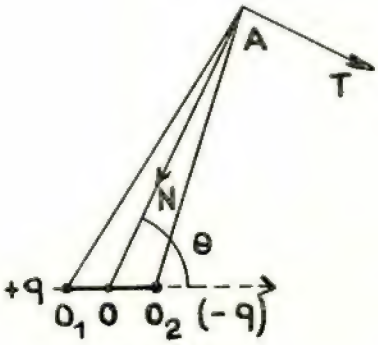


Fig. 5 bis

Or on sait qu'un tel doublet crée dans son voisinage, en A, um champ électrique dont la composante normale AN, dont nous avons besoin ici, est

$$\overline{AN} = -\frac{2\,m\cos\theta}{\overline{OA}^3} = -\frac{2\,E\cos\theta}{(1+\nu)^3}\,.$$

Prenons un cas concret : $a = 10\,\mu$ $E = 1800$ V/cm Q prenant les valeurs successivs 10^4e, 3.10^4e, $3{,}8.10^4$e. On a les 3 courbes méridiennes ci-contre (fig. 6) construites par notre collaborateur Guillien ; elles ont comme asymptote OY. Dans le cas (c) la 2.e nappe de la surface, très proche de la surface sphérique, ne peut être représentée distincte de celle-ci. Cette figure fait comprendre immédiatement la marche des phénomènes : le cône d'admission des ions, d'angle au sommet θ_0, se referme progressivement. Finalement la particule sphérique est completètement entourée d'une zône répulsive que les ions ne peuvent franchir sauf si l'agitation thermique leur communique une énergie cinétique suffisante.

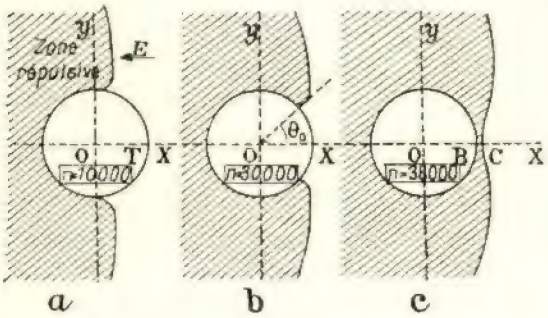


Fig. 6

La *discussion*, que nous ne ferons pas ici (1) ; montre que la zône répulsive entoure complètement la sphère dès que Q prend des valeurs *à peine supérieures* à $3\,E\,a^2$, et qu'elle s'élargirait très rapidement si Q continuait à croître. Par exemple, le cas (c) de la figure correspond à $Q = 3\,E\,a^2 \times 1{,}014$; la largeur minimum de la zône répulsive BC est alors $1\,\mu$, c'est-à-dire environ 12 fois le libre parcours moyen des molécules d'air dans les conditions normales.

Dans ces conditions, la probabilité pour qu'un ion parvienne à la particule sous l'influence de l'agitation thermique est faible, cela d'autant plus que la barrière répulsive est beaucoup plus large pour les points un peu écartés de l'axe, et d'autre part le supplément de charge ainsi acquis par la percée d'un ion est négligeable devant 38·000 e.

On trouve finalement que la charge limite est bien

$$\boxed{Q_0 = 3\,E\,a^2}$$

à moins de 1 p.100 près pour $a > 10\,\mu$ et qu'elle a encore très sensiblement cette valeur entre 1 et $10\,\mu$.

IV. *Durée de charge d'une particule sphérique.*

Cette notion est très importante pour les applications, car la précipitation électrique des particules lui est étroitement liée. Nous avons établi que cette durée de charge est d'ordinaire *très brève*.

L'apport de charges (ions de carge e) se fait (fig. 7) à travers une surface sphérique telle que S. La valeur de θ_0 qui détermine l'ouverture des «lèvres» de la zône d'admission est conditionnée par

$$X = 0$$

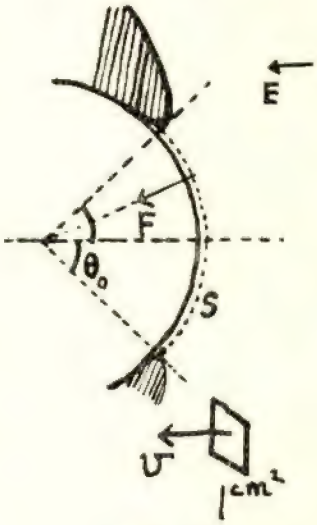


Fig. 7

Nous prendrons S assez proche de la particule pour pouvoir négliger ν devant l'unité, assez éloignée cependant pour pouvoir dans (8) négliger le terme d'image électrique devant les 3 autres ; il en résulte que

$$\cos\theta_0 = \frac{Q}{3\,E\,a^2} = \lambda\,. \qquad (9)$$

La fraction de la charge $Q_0 = 3\,E\,a^2$ acquise à l'instant t est le paramètre de notre problème actuel. La charge $d\,Q = 3\,E\,a^2\,d\,\lambda$ acquise en un temps $d\,t$ est aisée à évaluer : en effet si F est le champ électrique suivant le rayon vecteur d'un ion (l'effet d'image étant négligé), v la vitesse des ions, ρ la charge contenue dans 1 cm³, à travers l'élément de surface $d\,S$ il passe pendant le temps $d\,t$:

$$d^2\,Q = v\,\rho\,d\,S\,d\,t$$
$$= k\,F\,\rho\,d\,S\,d\,t$$

et

$$d\,Q = k\,\rho\,dt \int_0^{\theta_0} F\,dS.$$

Mais

$$\int_0^{\theta_0} F\,dS = \int_0^{\theta_0} \left(3\,E\cos\theta - \frac{Q}{a^2}\right).2\,\pi\,a^2 \sin\theta\,d\theta =$$

$$= 3\,\pi\,E\,a^2\,(1-\lambda)^2$$

en prenant pour élément d S une zône sphérique centrée sur la direction du champ. Il résulte de là que

$$\frac{d\lambda}{(1-\lambda)^2} = \pi\,k\,\rho\,dt.$$

D'où en tenant compte de ce que pour $t = 0$, $\lambda = 0$:

$$\frac{\lambda}{1-\lambda} = \pi\,k\,\rho\,t = \frac{t}{\tau},$$

en posant

$$\boxed{\tau = \frac{1}{\pi\,k\,\rho}}, \text{ où } \rho = \frac{i}{2\,\pi\,r\,k\,E},$$

τ est le temps au bout duquel la demi-charge est atteinte.

On peut aussi écrire

$$\tau = \frac{2\,r\,E}{i} \qquad \text{ou encore} \qquad \tau = \frac{4\,r}{k\,E}$$

On a donc la loi de charge:

$$\boxed{\lambda = \frac{t}{t+\tau}} \qquad (10)$$

Il est remarquable que *ni τ ni la loi de charge ne dépendent du rayon de la particule considérée.*

Ordre de grandeur: à 10 cm d'un fil émettant 6 μ A/cm, $\tau = 0{,}01$ s., la charge limite est acquise à 5 p. 100 près en 0,2 s.

On remarquera que, toutes choses égales d'ailleurs, la durée moyenne de charge τ varie proportionnellement à l'abscisse radiale r du point considéré:

Mais *elle est toujours tres brève,* ce qui est fondamental au point de vue des applications techniques.

Cas des sphérules diélectriques (constante diélectriques ε). On trouve dans les mêmes conditions que la charge limite est

$$Q_0 = p\,E\,a^2,$$

en posant

$$p = 1 + 2\,\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} = \frac{3\,\varepsilon}{\varepsilon + 2};$$

on remarque que

$$\lim_{(\varepsilon\,\infty)} p = 3$$

V. *Contrôles de la théorie précédente.*

A) *Charge limite des sphères conductrices.* On peut faire des vérifications directes pour des sphères de grand rayon: nous avons utilisé des billes d'acier de rayons compris entre 0,5 et 3,5 mm. A l'aide d'un tube de verre vertical (parallèle au fil) convenablement interrompu, la bille d'acier qui tombe est soumise au champ ionisé pendant un temps exactement connu; à la partie inférieure de l'appareil, elle est reçue dans un électromètre de très faible capacité. On a pu vérifier ainsi d'une part l'exactitude de la formule (10), d'autre part la proportionnalité de Q_0 à E et à a^2 et enfin, en étalonnant le voltmètre, on retrouve le coefficient 3. Des protections électrostatiques soignées sont nécessaires.

B) *Cas des sphères isolantes* (naphtaline, paraffine, gomme laque). La valeur théorique de p a été retrouvé à l'électromètre. En outre, si on rend la sphère conductrice, on retrouve la valeur 3.

C) *Cas des fines particules: méthode des trajectoires.* Nous avons fait des sphérules en alliage de Rose (fondant à $t < 100^{\circ}$C): Il suffit, dans une éprouvette pleine d'eau, d'injecter l'alliage fondu à la partie supérieure de l'éprouvette où l'eau est maintenue au voisinage de 100° C tandis que la partie inférieure est froide.

Nous avons réalisé ainsi des particules de rayons compris entre 10 e 150 μ que l'on abandonne à l'état neutre et sans vitesse en un point P du champ ionisé (fig. 8); dans une fente verticale de la paroi on dispose, suivant AC une plaque de verre couverte de gélatine humide; les trajectoires telles que P B ou P C aboutissent bien sur la plaque aux points calculés avec une très faible dispersion comme le montre la figure 9.

On obtient les mêmes vérification avec des sphérules diélectriques de gomme laque; la dis-

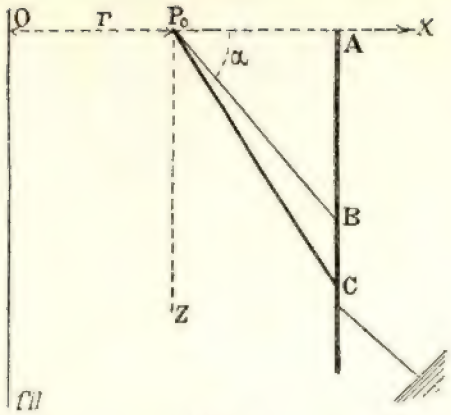


Fig. 8

persion est un peu plus grande en raison de la faible densité des particules.

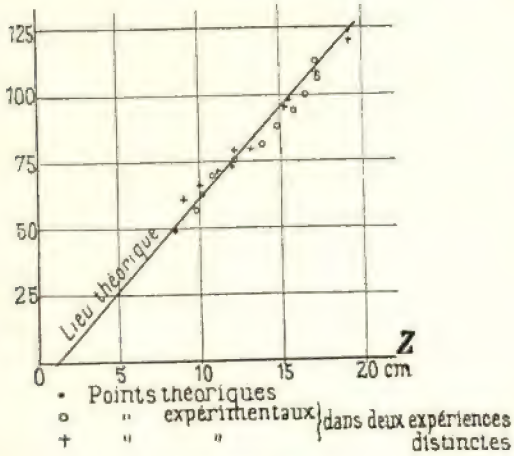


Fig. 9

VI. *Application des lois précédentes à la purification électrique des gaz.*

Une particule entraînée par le courant gazeux à purifier, entrant en P dans le champ ionisé pratiquement constant E calculé plus haut, y acquiert presque instantanément une charge négative.

$$Q = p\,E\,a^2 .$$

Elle est donc attirée vers la paroi par la force de précipitation

$$f = p\,E^2\,a^2 .$$

Dans le domaine où s'applique la loi de Stokes, cette particule sphérique subit de la part du gaz ambiant une résistance de frottement

$$f' = 6\,\pi\,\eta\,a\,v \qquad (11)$$

(v, vitesse relative de la particule, η viscosité du gaz)

Si l'écoulement du gaz est *laminaire* c'est-à-dire sans tourbillons et parallèle à l'axe du cylindre et de vitesse uniforme, la particule prend d'une façon quasi immédiate, par rapport au fluide, une vitesse uniforme v telle que

$$6\,\pi\,\eta\,a\,v = p\,E^2\,a^2 \qquad (12)$$

c'est-à-dire

$$v = \frac{p\,E^2\,a}{6\,\pi\,\eta} \qquad (13)$$

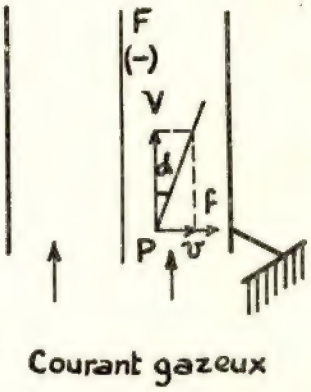


Fig. 10

La mouvement de la particule est dirigé suivant la résultante de la vitesse radiale v et de la vitesse axiale V; sa trajectoire PX (fig 10) est donc en principe rectiligne et telle que

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v}{V} .$$

Dans ce cas particulier simple on peut donc calculer entièrement la précipitation des particules apportées par un gaz quand on connaît la statistique de leurs rayons.

On peut encore résoudre ce problème quand la vitesse du gaz n'est plus constante, mais varie suivant une loi connue en fonction de l'abscisse radiale.

Enfin, en supposant au contraire le gaz «parfaitement turbulent» il est encore possible de calculer le rendement du précipiteur électrique : on trouve qu'il tend exponentiellement vers l'unité en fonction de la longueur du tube.

Autre forme de la précipitation électrique industrielle. Une autre disposition des électrodes est représentée par la schéma de la fig 11 : le courant gazeux, en principe horizontal, circule entre 2 plaques verticales P. Les fils verticaux équidistants F_1 F_2 F_3, etc. sont reliés à la source de haute tension continue ; entre eux et les plaques P existe un champ électrique ionisé que l'on peut encore étudier à la sonde. Les plaques P constituent les électrodes de dépôt.

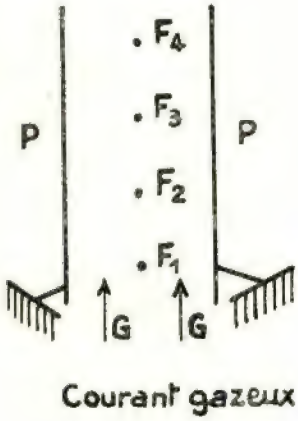


Fig. 11

Les vitesses des courants gazeux sont de l'ordre de 1 ou 2 mètres/seconde par exemple, les distances entre é lectrodes de l'ordre de 1 à 2 dm, les tensions appliquées de quelques dizaines de kV. — Le courant gazeux à à purifier est divisé en autant de tranches parallélipipédiques horizontales, qu'il est nécessaire.

VII. *Quelques difficultés techniques*

Les particules chargées constituent des ions lourds qui circulent beaucoup plus lentement dans le champ électrique que les ions gazeux eux-mêmes. On peut craindre qu'il en résulte une modification importante du champ électrique calculé au § II quand il est ainsi «embouteillé» par de gros ions. Nous avons montré [2] que le résultat dépend essentiellement de l'état de division de la matière en suspension dans le gaz, mais que, dans les conditions habituelles, la modification défavorable du champ électrique qui en résulte est d'ordinaire assez faible pour être négligée.

D'autre part nous avons signalé depuis longtemps [3] que dans la purification électrique des gaz la tâche la plus difficile n'est pas de précipiter électriquement les poussières en suspension, mais de se débarrasser du précipité. En effet dans beaucoup de cas ce précipité est assez isolant pour barrer le passage au courant d'ions émis par les fils ; en outre il se perce de petits canaux qui émettent *des ions positifs :* l'électrode de précipitation, qui est normalement obscure, devient lumineuse ; le courant qui traverse l'appareil devient considérable ; il se produit de nombreux claquages d'étincelles et la précipitation devient médiocre : c'est le phénomène dit de *contre-émission,* si redouté des techniciens de la précipitation électrique. Ce phénomène dépend essentiellement de la résistivité du précipité à la température de fonctionnement du filtre électrique, et accessoirement de la teneur des gaz en vapeur d'eau ; il a été étudié en particulier dans notre laboratoire [4] et aussi aux U. S. A. [5] ; de nouvelles recherches sont en cours. Pour éviter la contre-émission, on tâche, en général, d'éliminer le mieux possible le dépôt par le battage périodique des électrodes.

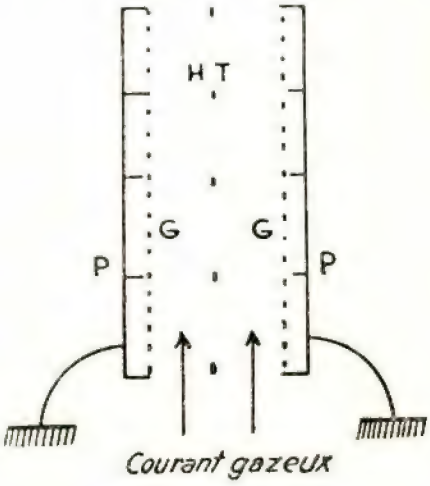


Fig. 12

C'est ainsi que nous avons réalisé (cf. loc. cit.) un précipiteur (fig. 12) du type à trois électrodes, dont la cellule standard est ainsi constituée : l'électrode à haute tension continue négative est un plan de fils fins parallèles d'équidistance convenable. Chacune des électrodes terre comprend une plaque de tôle plane P, protégée *imparfaitement* au point de vue électrostatique par un grillage G à larges mailles formant une cage

ASEA

UMA DAS GRANDES FÁBRICAS DE MÁQUINAS
E APARELHAGEM ELÉCTRICAS DO MUNDO

ALLMANNA SVENSKA
ELEKTRISKA AB
SUÉCIA

ALTERNADORES ✦ MOTORES ✦ TRANSFORMADORES
DISJUNTORES ✦ CONDENSADORES ✦ PÁRA-RAIOS
APARELHAGEM PARA ALTA E BAIXA TENSÃO
REGULADORES DE TENSÃO ✦ GRUPOS ELECTROGÉNIOS
EQUIPAMENTOS ESPECIAIS PARA A INDÚSTRIA
TÉXTIL • PAPEL • CIMENTO • FERRO
GRANDES CENTRAIS ELÉCTRICAS
TELECOMANDO • FORNOS A. F. • TRACÇÃO

ENTREGAS RÁPIDAS NA FÁBRICA
NOVOS PREÇOS REDUZIDOS
GRANDE STOK EM ARMAZÉM

REPRESENTANTES

JAYME DA COSTA, L.DA

LISBOA - PORTO

RÉGUAS DE CÁLCULO

FABRICO ALEMÃO

Numa grande variedade de sistemas em modelos de bolso, escritório e de parede.

As réguas de cálculo **ARISTO** são precisas, resistentes, práticas e duma concepção completamente diferente de todas as outras. Escreva a pedir preços e catálogos aos

Representantes exclusivos para Portugal:

EMÍLIO DE AZEVEDO CAMPOS & C.A, L.DA

CASA FUNDADA EM 1854

Sede: R. de Santo António, 137 — PORTO
Telef. 20254/5

Filial: R. Antero de Quental, 17 — LISBOA
Telef. 53366

ARISTO

Para impermeabilizar terraços, paredes, fundações, etc.

CONTRA A HUMIDADE

FABRICA EM SACAVÉM

TELEFONES { 4 2651 / 4 2156

TELEG. EPALDA—LISBOA

de Faraday incomplète: la grille est parallèle à la plaque, et à quelques centimètres de celle-ci; elle lui est reliée électriquement. Les équipotentielles du système ont été étudiées par un de nos collaborateurs (Thèse Parizy). Les poussières chargées par les ions sont chassées par le champ intense à travers les mailles de la grille, puis conduites sur la plaque par un champ très faible. Un cloisonnement convenable empêche le courant gazeux de circuler entre grille et plaque:

— La fig. 13 indique schématiquement la division du courant gazeux horizontal à traiter en tranches paralèlles, les trémies T_1 T_2 T_3 où tombent finalement les cendres avant d'être entraînées par des vis sans fin.

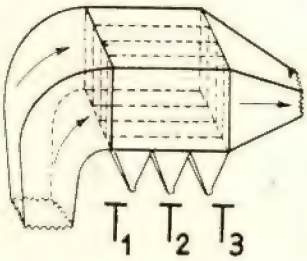


Fig. 13

Le dépôt très peu adhérent qui se forme sur la plaque ne peut, en champ faible, troubler la précipitation et s'écoule en général spontanément suivant la verticale à la manière d'un liquide. D'autre part on débarrasse aisément la grille, facile à faire vibrer.

On a réalisé depuis des dispositifs équivalents plus simples et moins fragiles.

VIII — *Exemples de quelques applications industrielles.* De très grosses installations ont été réalisées pour arrêter *les fumées des foyers de chaudières* dans les centrales thermiques: le chauffage y est très souvent assuré par combustion du charbon pulvérisé; la micrographie de la figure 14 montre que la plupart des particules qui constituent les cendres sont transparentes et sphériques, après fusion dans le foyer: ce sont des billes de verre; les plus petites ont un diamètre de l'ordre du micron.

Nous avons réalisé le premier appareil destiné à *ce genre de filtration* en 1928 à la Centrale électrique de Comines-France (Nord); il était du type à trois électrodes décrit plus haut et destiné à traiter un courant gazeux de 100.000 m^3/heure à 300°C. L'expérience a parfaitement réussi.

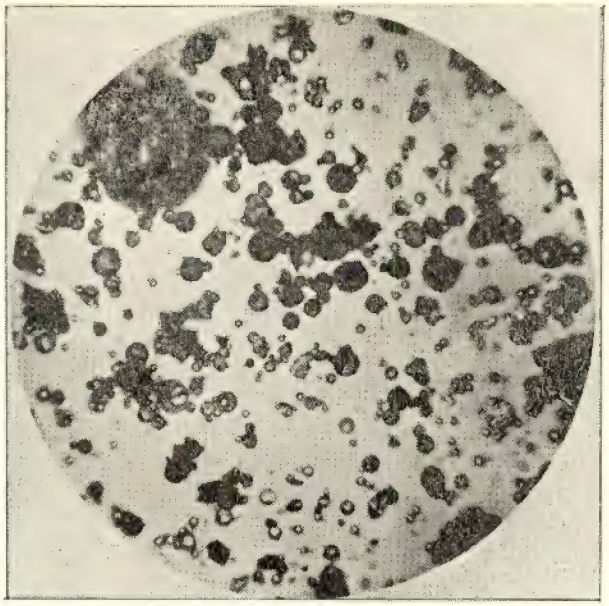


Fig. 14

Des centaines d'installations de ce genre ont été réalisées depuis. Le fig. 15 se rapporte par exemple à une centrale dont le foyer débit environ 230.000 m^3/h de gaz contenant en moyenne

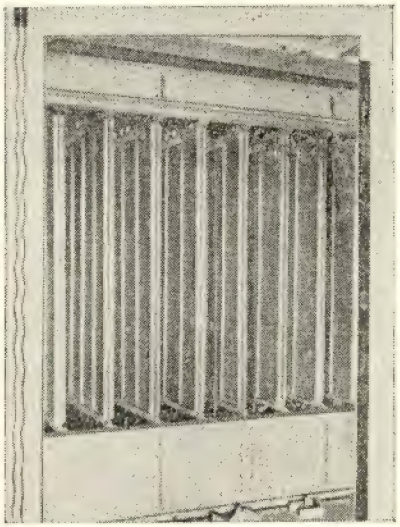


Fig. 15

70/gm^3 de poussières. Le précipiteur électrique (fig. 15), formé de travées parallèles larges de 33 cm, a 10,50 m de haut, autant de large et

9 m de long; il pèse 150 tonnes. La teneur en poussières des gaz filtrés est inférieure à 1g/m³ et correspond à un rendement supérieur à 98 p.100. On réinjecte les cendres dans le foyer, ce qui permet d'augmenter le rendement thermique de 1 p.100 et facilite l'évacuation des poussières, transformées finalement en mâchefer.

Auparavant on avait filtré dans l'industrie des gaz de grande valeur énergétique comme *les gaz de hauts fourneaux* dans des appareils constitués par des cylindres verticaux parallèles (méthode Cottrell).

Maintenant on utilise presque toujours des appareils à électrodes parallèles. Signalons leur application non seulement dans les centrales thermiques, mais dans les *cimenteries*, dans la purification du gaz sulfureux provenant du *grillage des pyrites*, dans l'industrie de *l'acide sulfurique*, le *broyage du charbon*, etc.

IX. *Domaine bactériologique et sanitaire*

Le champ électrique ionisé est évidement capable de *précipiter aussi les germes vivants* contenus dans un gaz, dans l'air par exemple. On peut

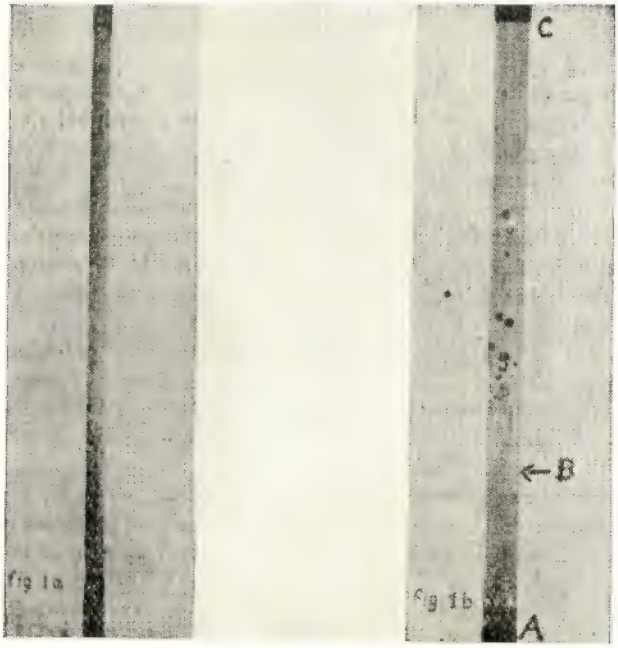


Fig. 16

faire très facilement l'expérience avec un simple champ cylindrique [6]: le cylindre est fendu dans le sens des génératrices; la fente est fermée par une lame de gélatine humide. On pulvérise dans l'air qui traverse le tube un bouillon de culture de bacillus prodigiosus. La fig 16 montre en 1-a que sans champ électrique les colonies rouges dues au développement du bacille se développent sur toute la longueur de la bande; au contraire en 1-b l'air entrant en A est complètement purifié en B; les quelques taches que l'on aperçoit au-dessus de B sont des moisissures apportées par l'air ambiant pendant le développement des bactéries rouges.

Fig. 17

La fig 17 montre d'autre part un appareil portatif qui permet *d'analyser électriquement l'air d'un atelier* par exemple: on aspire au point voulu un volume connu d'air; les poussières sont entièrement précipitées avant la sortie du tube; une bande de gélatine disposée comme ci-dessus permet la statistique microscopique: on peut

Fig. 18

pour chaque mesure conserver un document enregistré.

Nous montrons dans la fig 18 comment on

peut projeter électriquement sur des *plantes à traiter* des poudres convenables: ces poudres, électrisées, fixées par leur image électrique dans le tissu conducteur des plantes, adhèrent énergiquement aux feuilles les plus lisses. La tension d'électrisation est produite par une petite machine électrostatique que l'opérateur actionne au moyen d'un levier, en même temps qu'une petite soufflerie. La plante à traiter joue ici le rôle de l'électrode terre.

Nous faisons actuellement l'étude des *particules ultramicroscopiques.* La fig 19 montre um cliché de microscope électronique: les sphérules observées (échelle 1cm pour 1 μ) précipitées sur une mince membrane, ont été ombrées à l'or (expériences de M. Challande [7]).

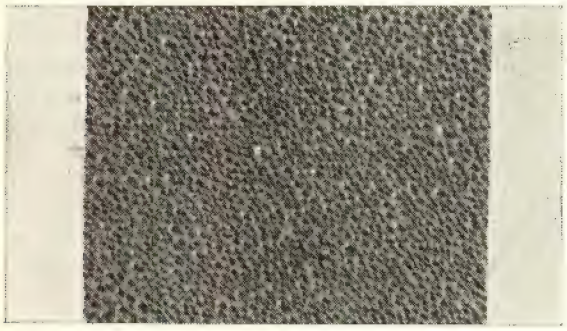


Fig. 19

X. *Conclusion*

La précipitation éléctrique — qu'il est incorrect d'appeler électrostatique puisqu'elle nécessite essentiellement l'intervention *d'un courant* d'ions dans le gaz à traiter — dont nous venons d'esquisser les grandes lignes, prend actuellement dans le monde entier une grande extension dans les domaines les plus divers; elle est un de nos moyens d'action les plus puissants sur la matière divisée.

QUELQUES RÉFÉRENCES

1. M. PAUTHENIER; Revue Générale de l'Electricité 45 (1939) p. 583.
   Résumé général des publications de notre laboratoire entre 1927 et 1939, donnant les principales références.

2. M. PAUTHENIER et Mme MOREAU-HANOT. Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences 199 (1934) p. 189 et 199 (1934) p. 1193.

3. Bulletin de la Société des Sciences de Lille 1927, p. 97 et Le Monde Industriel 54 (1927) p. 185.

4. M. PAUTHENIER, L. DEMON et E. LAURENT. La contre-émission secondaire dans les filtres électriques. Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences 222 (1946) p. 1219.

5. G. W. PENNEY. Electrostatic Precipitation of High--Resistivity Dust A. I. E. E. Transactions Volume 70 — 1951.

6. M. PAUTHENIER et H. VOLKRINGER: Procédé électrique pour la destruction des germes microbiens en suspension dans un gaz. Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences 202 (1936) p. 250,

7. M. PAUTHENIER et R. CHALLANDE: Observation des dépôts de précipitation électrique au microscope électronique. Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences 236 (1953) p. 69.

DO MUNDO TÉCNICO

Iniciamos neste número da nossa revista a separação da rubrica «Do Mundo Técnico» em duas secções, «Revista das Revistas» e «Notas Técnicas».

Na primeira secção far-se-á a transcrição ou tradução de artigos considerados de interesse, extraídos de outras revistas.

Na segunda secção publicar-se-ão as pequenas notícias técnicas que não justifiquem pelo seu nível técnico ou pela sua índole a integração na secção «Revista das Revistas».

Deste modo julgamos prestar um serviço aos nossos leitores, pelo facto de colocarmos ao seu alcance assuntos de indiscutível nível técnico, publicados em revistas que não são do conhecimento geral.

REVISTA DAS REVISTAS

C. D. 621.186.8:62/66

O aproveitamento industrial do calor de escape

Pelo Prof. Emil Hablützel, do Technikum de Winterthur

(Da "Suíça Técnica", n.º 3 — 1954)

Na construção das máquinas de força motriz e de trabalho, os engenheiros rivalizam entre si para conseguir rendimentos cada vez mais elevados, gastando-se importâncias enormes com trabalhos de investigação e de desenvolvimento, a fim de conseguir os últimos pontos, cada vez mais difíceis de alcançar, do aproveitamento da energia. Os construtores de máquinas sabem bem que a garantia de rendimentos que ficam um ou dois pontos mais elevados, pode ser decisiva para obter uma encomenda, e também os compradores são cientes do facto de que, nos custos actuais de energia, mesmo diferenças diminutas nos rendimentos de energia podem influenciar sensìvelmente os seus próprios custos de produção. Todavia, desde que se dedique, a este respeito, tanta atenção às máquinas que produzem ou consomem energia, seria também indicado submeter o orçamento de energia da empresa industrial, no seu total, a um exame cuidadoso e evitar sobretudo as perdas de energia em forma de calor de escape não aproveitado. Visto que a Suíça é obrigada a importar por completo os combustíveis e, em parte considerável, também energia eléctrica durante o inverno, os engenheiros suíços viram-se desde sempre na necessidade de estudar minuciosamente os problemas do aproveitamento do calor de escape, e as empresas construtoras, além de fornecerem as necessárias máquinas e aparelhos, também põem à disposição dos interessados as suas preciosas experiências colhidas neste ramo especial da técnica. O aproveitamento do calor de escape é extremamente diverso em relação às fontes de calor e coloca o engenheiro perante numerosos problemas secundários, tais como os fenómenos de condensação e os resultantes perigos de corrosão, entupimentos e sua fácil e eficiente supressão ou eliminação, bem como a aplicação adequada do calor recuperado, etc. Os permutadores térmicos a empregar tornam-se muitas vezes bastante volumosos, ocupam muito espaço e impõem em geral o emprego dum material dispendioso, de modo que se devem fazer, primeiro, cálculos minuciosos do rendimento, tomando ainda em consideração as condições de serviço não só do lado das fontes como também dos consumidores de calor. Estes cálculos tornam-se ainda consideràvelmente mais importantes, quando, além dos aparelhos, se necessitam ainda máquinas para o aproveitamento do calor de escape, tais como bombas de calor. Se o engenheiro não toma em consideração um ou outro desses problemas secundários, ele e o seu cliente correm o risco de graves desilusões. Assim, por ex., as corrosões eventuais podem chegar a descobrir-se só depois de passados tempos prolongados e ter por isso consequências catastróficas. No entanto, as numerosas aparelhagens de aproveitamento do calor de escape, já em serviço ou em execução, provam que se dispõe actualmente de experiência suficiente para se poderem resolver com êxito quaisquer novos problemas que possam surgir com o progresso incessante da técnica.

Muitas vezes, as aparelhagens para o aproveitamento do calor de escape são apreciadas apenas segundo os valores das energias recuperadas, não se atendendo a que os efeitos indirectos podem revestir-se da mesma importância. Assim, por ex., o aproveitamento do calor de vapores exalados, torna possível manter secas ou climatizar de maneira racional grandes salas, quando se captam os vapores exalados no lugar do seu desenvolvimento. Para este fim, nem sempre se necessitam de instalações centralizadas, e empregam-se, sobretudo na indústria têxtil, muitas vezes no próprio local pequenas unidades, compostas de capota, permutador térmico (fig. 1) e ventilador (fig. 2). A manutenção dum ambiente seco é de máxima importância para as edificações. De ano para ano resultam os mais graves prejuízos pela condensação dos vapores exalados em paredes e tectos. Consequentemente, um aproveitamento adequado do calor de escape atinge também importância na economia nacional. A captação e condensação dos vapores exalados

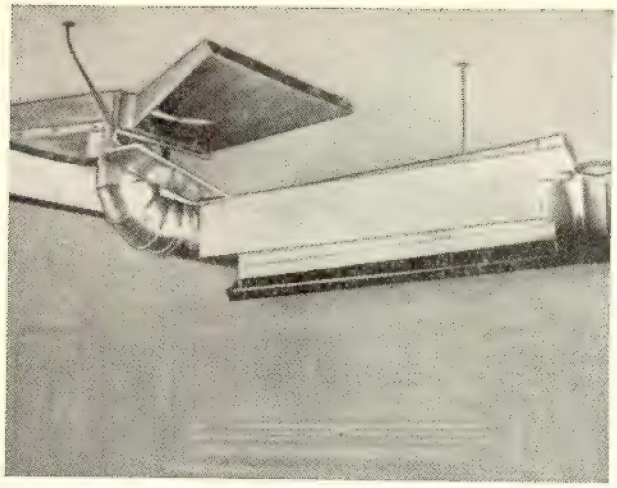


Fig. 1. Aparelhagem de recuperação do calor, por cima duma calandra composta duma capota, dum permutador térmico, ventilador e tubeira distribuidora de ar fresco.
(Jöler A.-G., Hauptwil, Thg.)

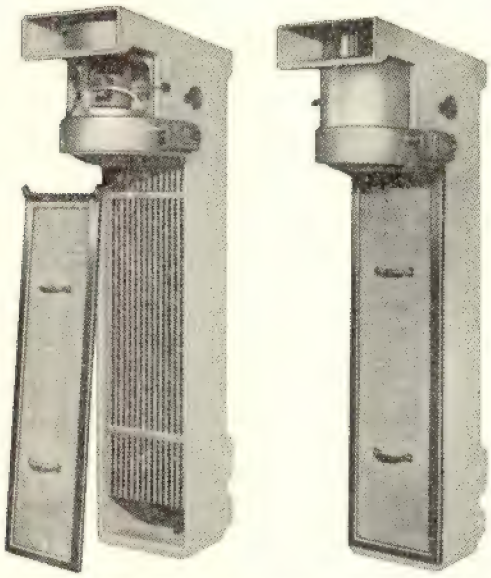


Fig. 2. Pequeno aproveitador de calor de escape, para aquecer ar fresco por meio de ar quente de escape, fechado e com o permutador térmico descoberto.
(Jöler A.-G., Hauptwil, Thg.)

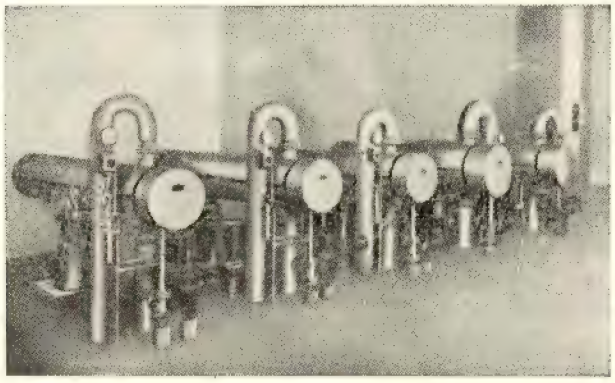
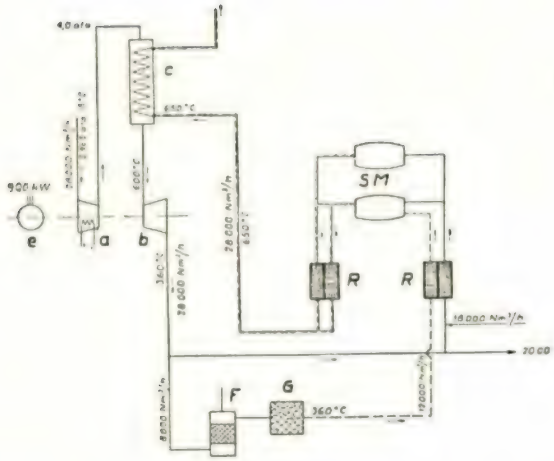


Fig. 3. Permutador térmico de contra-corrente, para transformar, por ex., vapor de escape em água quente, para o aquecimento central de edifícios.
(Hch. Bertrams A.-G., Basileia.)

melhora o clima das salas, pelo que muitas vezes se consegue melhorar, além das condições de trabalho do pessoal, também a qualidade do produto fabricado. Nos numerosos processos de secagem, uma parte do calor gasto pela evaporação é recuperada, nos permutadores térmicos, em forma de calor de condensação que, transmitido ao ar fresco, torna este mais quente e seco. Com este ar quente pode-se também submeter o material a uma secagem prévia, compensar irregularidades de humidade do material bruto, de modo que a secagem principal forneça igualmente um produto mais regular. Consequentemente, além de poupar calor, consegue-se uma melhoria da qualidade de fabrico. Um aproveitamento útil para este fim são, por ex., os secadores de forragens. Também sob o ponto de vista da higiene das habitações, pode ser conveniente fazer condensar, dentro de recuperadores térmicos, os vapores exalados que normalmente escapam sem serem aproveitados, por ex., no caso duma grande padaria com um forno Turnus, situada num bairro com grande densidade de habitações. Nos serviços deste género é sempre bemvinda a produção de uma água de uso obtida dum calor gratuito. Em muitos processos técnicos, os vapores de escape tem efeito corrosivo e podem assim causar maiores danos nas edificações e construções em ferro, tais como guindastes, pontes rolantes, etc. Assim, fazendo condensar estes vapores dentro de permutadores adequadamente construídos, recupera-se, por um lado, calor e, por outro, evitam-se prejuízos. O condensado corrosivo pode ser fàcilmente neutralizado. Há mesmo casos onde graças à aparelhagem de aproveitamento do calor de escape, os vapores corrosivos nem chegam a desenvolver-se, como, por ex., na refrigeração do coque a seco. Todavia, na grande maioria dos casos, as condições não são de ordem tão simples e de tão fácil orientação como nos exemplos citados, sendo muitas vezes necessário instalar aparelhagens complicadas de maiores extensões, cujas vantagens económicas já não são tão evidentes.

O valor comercial do calor de escape é tanto maior quanto maior for a temperatura à qual é produzido, quanto menores forem as variações periódicas da saída do calor, e quanto mais completa for a aplicação da energia recuperada no próprio processo de fabrico ou em serviços secundários, instalações sanitárias, etc.



Explicação do esquema:

— ar,
- - - gás combustível,
═══ gases de fumo.

a = compressor refrigerado,
b = turbina,
c = aquecedor de ar,
e = gerador,
F = humedecedores de ar,
G = geradores de gás,
R = regeneradores de calor,
SM = fornos Siemens-Martin.

Fig. 4. Esquema duma turbina de ar para o aproveitamento do calor de escape de fornos Siemens-Martin. O ar de escape da turbina serve de ar comburente prèaquecido no gerador de gás e nos fornos. Capacidade produtora dos fornos 30 t/h cada; potência da turbina 900 kW.

(Ateliers de Construction Oerlikon, Zurique.)

Por meio de acumuladores de calor, para compensar as variações periódicas e deslocações, é possível melhorar consideràvelmente o rendimento destas instalações.

O calor de escape de alta temperatura, por exemplo de 800-1000° C, permite a produção duma energia mecânica ou eléctrica, a qual, em geral, proporciona a maior valorização e que quase sempre pode ter aplicação no próprio serviço ou pode encontrar fàcilmente outro emprego. Além das máquinas de força motriz, pode-se empregar, a temperaturas mais baixas, o calor de escape para prèaquecer, aquecer (fig. 3), ferver. etc. Para gerar força motriz por meio de gases de escape quentes, proporcionam-se hoje duas modalidades: a da turbina a vapor ou máquina de vapor de êmbolo, e a da turbina a gás. Quando os gases de escape contêm maior percentagem de poeiras ou cinzas, ou quando são corrosivos é mais adequada a turbina a ar, quer dizer, de aquecimento indirecto, visto que assim não há perigo para as máquinas, visto que o aquecedor de ar, de material refractário, costuma possuir a necessária resistência à corrosão.

Quando os gases de escape provêm de fornos de fusão, por exemplo, de fábricas de vidro ou acearias, é possível, no emprego da turbina a ar com circuito aberto, utilizar o ar de escape das turbinas como ar comburente nos geradores de gás e nos próprios fornos (fig. 4). Independentemente do sistema escolhido, conduzem-se os gases de escape, vindos da zona de chama, primeiro, através dos regeneradores de calor onde ar e gás são altamente aquecidos antes da sua entrada no forno de fusão.

Nas fábricas de gás e coque há abundantes oportunidades para o aproveitamento dos gases de escape. Os gases quentes, que escapam das fornalhas inferiores das retortas, cedem a sua energia exclusivamente aos geradores de vapor, ou então, primeiro às turbinas a ar e, depois às caldeiras de calor de escape para vapor de baixa pressão, ligadas em série (fig. 5 e 6). Como provam instalações de construção muito recente, obtém-se com a turbina a ar um maior lucro em energia eléctrica do que com uma turbina a vapor visto que a caldeira de calor de escape fornece, ainda, vapor suficiente para a produção de gás de água, a qual, a fim de regular o poder calorífico do gás, é combinada muitas vezes com a destilação do carvão. Também das retortas, o gás escapa em estado muito quente e pode ainda ser aproveitado para o aquecimento prévio do ar comburente, mas evitando cuidadosamente uma condensação do alcatrão e de outros componentes dentro dos permutadores térmicos. Uma fonte importante de calor de escape é também o coque, que é extraído a uma temperatura de 1000° C ou superior das retortas. A extinção por rega, anteriormente de uso geral, significava um desperdício enorme de calor, resultando um forte desenvolvimento de vapores corrosivos, muito coque de granulação fina e finalmente coque molhado. Actualmente está fortemente introduzido o processo de esfriar o coque a seco por meio dum gás inerte, que evita todas estas desvantagens. O gás inerte circulado destinava-se, até agora, exclusivamente ao aquecimento de geradores de vapor (fig. 7), visto que é necessário arrefecer o coque até temperaturas inferiores a 300° C, para que este não se inflame por si no contacto com o ar atmosférico. Devido às fortes variações de temperatura dos gases à saída do arrefecedor de coque, também hoje não há outra possibilidade de aproveitamento. No entanto, quando se fabricam maiores quantidades de coque, de maneira que o arrefecimento se efectue quase num processo contínuo, o gás pode, graças às menores diferenças de temperatura, ceder energia mecânica nas turbinas de ar, mas deve, todavia, ser arrefecido posteriormente dentro de caldeiras de vapor a baixa pressão.

A combinação da turbina a gás ou ar com uma caldeira de vapor, como se proporciona aqui por exemplo, pode trazer vantagens em muitos outros casos, onde se deseja ainda produzir vapor, além da energia eléctrica. No circuito normal da turbina a gás, os gases de escape da turbina cedem calor ao ar fresco comprimido ou ar circundante, dentro do recuperador. Este recuperador pode ser substituído por uma caldeira a vapor. Evidentemente, o consumo de calor de combustão por quilograma de gás de trabalho é então mais elevado, mas, em compensação, os gases são

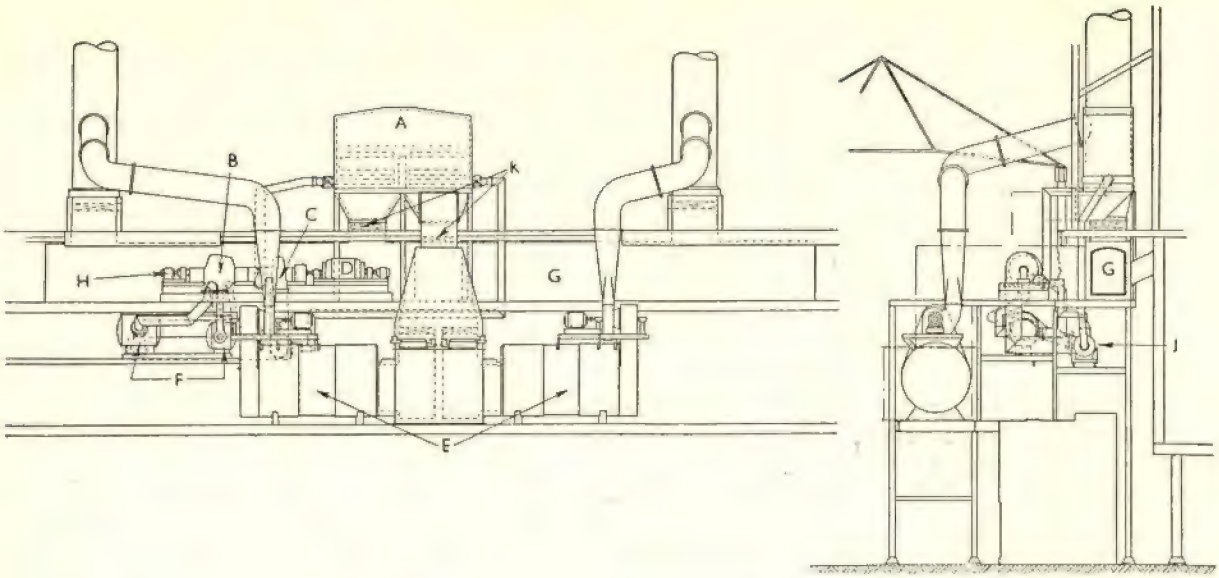


Fig. 5. Instalação de aproveitamento do calor de escape numa fábrica de gás, com uma turbina de ar quente sistema Escher Wyss com circuito fechado, combinada com caldeiras de calor de escape para a produção de vapor para aquecimento. Execução de John Brown Ltd., em conjunto com Spencer Boncourt, segundo propostas do Cpt. (E.) William Gregson.

A = Aquecedor de ar principal
B = Compressor
C = Turbina
D = Gerador
E = Caldeira de vapor para o calor de escape
F = Refrigeradores prévio e intermédio
G = Saída dos gases de escape
H = Motor de arranque
J = Permutador térmico
K = Registro de obturação.

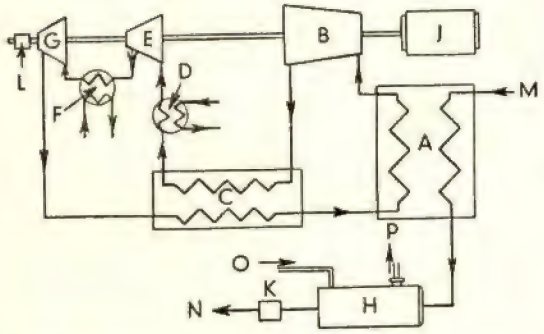


Fig. 6. Esquema do circuito para a instalação da turbina de ar da fig. 5.

A = Aquecedor de ar para o calor de escape
B = Turbina
C = Permutador térmico
D = Refrigerador prévio
E = Compressor de baixa pressão
F = Refrigerador intermédio
G = Compressor de alta pressão
H = Caldeira de vapor para o calor de escape
J = Gerador
K = Soprante para a tiragem de aspiração
L = Motor de arranque
M = Entrada dos gases quentes a aproveitar
N = Saída dos gases de escape para a atmosfera
O = Água de alimentação
P = Vapor

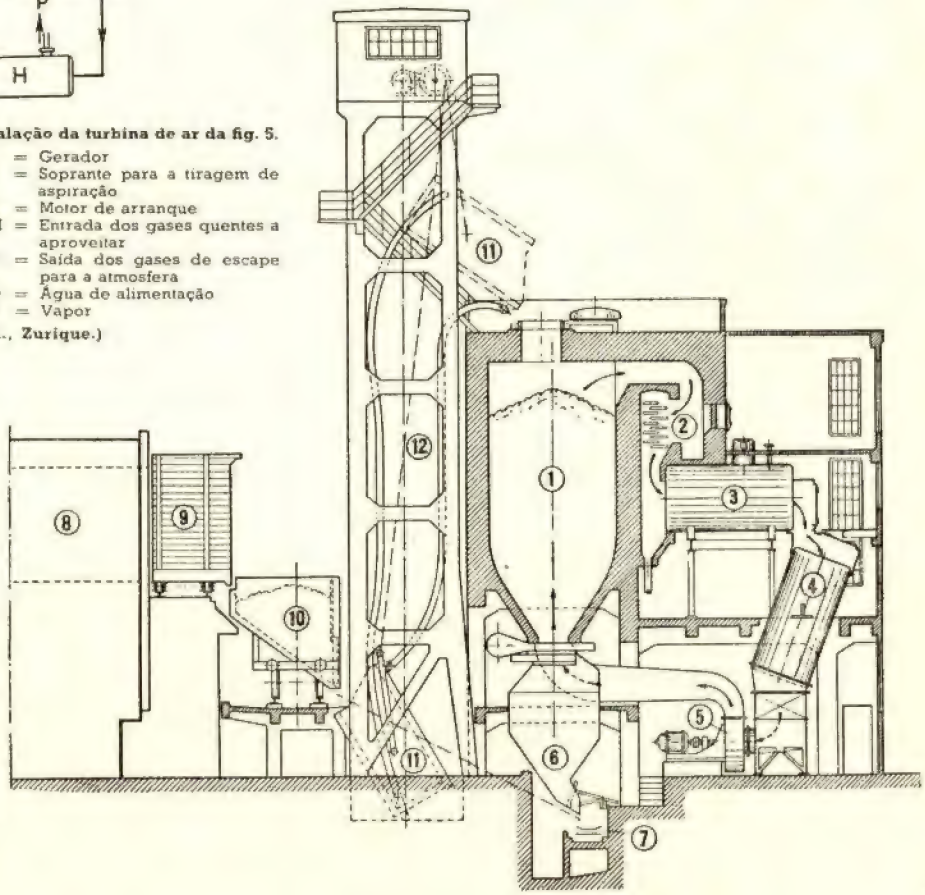
(Escher Wyss S. A., Zurique.)

Fig. 7. Esquema duma instalação Sulzer para o arrefecimento do coque, tipo tanque.

1 = Tanque resfriador
2 = Sobreaquecedor de vapor
3 = Instalação de caldeira de vapor
4 = Instalação de caldeira de vapor
5 = Grupo do ventilador para o gás de resfriamento
6 = Dispositivo de descarga de coque
7 = Faixa transportadora de coque
8 = Forno de câmara horizontal
9 = Condução para o aglomerado de coque
10 = Carro para o coque incandescente
11 = Balde para o coque incandescente
12 = Elevador para o coque incandescente

Esta forma de construção é adequada em especial para grandes fábricas de gás e de coque. O tanque pode receber uma quantidade múltipla de cargas de forno e proporciona assim condições de trabalho em regime quase contínuo. Além disso constroem-se também tipos de câmara e de tubo de chama, para quantidades de baldeação menores e muito pequenas.

(Sulzer Frères S. A., Winterthur.)



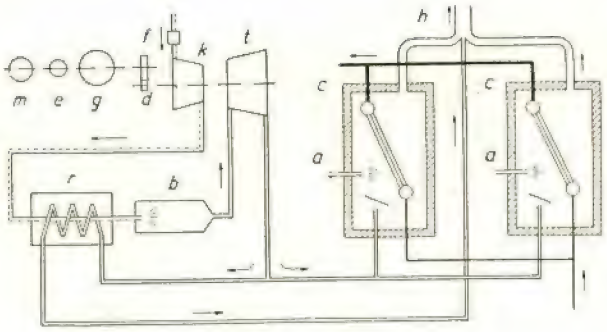


Fig. 8. Esquema duma instalação combinada duma turbina a gás com geradores de vapor, na qual os gases de escape da turbina servem em parte como ar comburente para as caldeiras.

f = Filtro de ar
k = Compressor radial
t = Turbina a gás
d = Caixa de engrenagens
g = Gerador trifásico
e = Excitatriz
m = Motor de arranque
b = Câmara de combustão
r = Permutador térmico
c = Caldeiras de aquecimento
a = Queimadores das caldeiras de aquecimento
h = Chaminé

Em caso dum consumo de vapor reduzido, basta o calor de escape da turbina, isto é, sem funcionarem os queimadores de óleo nas caldeiras. A combustão efectua-se depois só dentro da câmara da turbina.

(Ateliers de Construction Oerlikon, Zurique.)

arrefecidos na caldeira e no prèaquecedor de água de alimentação ligado a seguir, até temperaturas muito mais baixas do que no recuperador. O grande excesso de ar no processo da turbina a gás favorece este método, graças ao baixo ponto de condensação dos gases. Visto dum modo geral, resulta da ligação descrita um lucro que se pode atribuir ao aproveitamento do calor de escape. Seria pouco económico, ligar ao recuperador ainda um gerador de vapor, devido à reduzida queda de temperatura e à resistência adicional. As turbinas a gás com circuito aberto permitem também conduzir os gases de escape em duas correntes paralelas, quer dizer, em parte através dum recuperador e em parte como ar comburente altamente aquecido para dentro duma fornalha de caldeira (fig. 8 e 9), visto que ainda são muito ricos em oxigénio. Também neste caso resulta um bom aproveitamento do calor de escape. Uma central térmica construída neste princípio, fornece uma maior porção de energia eléctrica que uma simples turbina a vapor de contra-pressão, cujo nome pelo menos deve ser citado em conjunto com o aproveitamento do calor de escape.

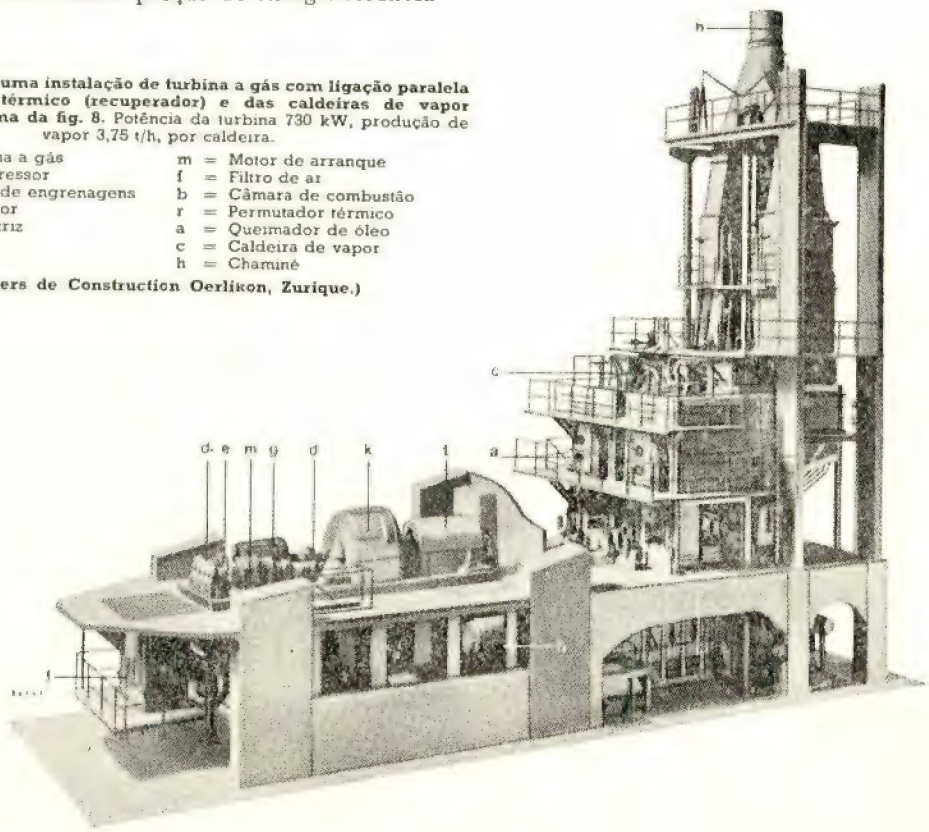
Os gases quentes de escape dos fornos de cozer nas usinas metalúrgicas de prensagem e forja, servem em geral à produção do vapor necessário para o accionamento das prensas e martelos a vapor. Ao sair destas máquinas, o vapor ainda possui bastante calor para alimentar com calor vastas instalações sanitárias, tais como instalações de chuveiros e banhos, assim como instalações de secagem.

Gases de fumo de temperaturas elevadas são também disponíveis nas instalações da queima de lixo. Estas instalações são incluídas sem dúvida justificadamente nos problemas aqui considerados, mas, como têm por tarefa principal a destruição do lixo, o calor libertado pela sua combustão serve em primeiro lugar

Fig. 9. Maqueta duma instalação de turbina a gás com ligação paralela do permutador térmico (recuperador) e das caldeiras de vapor conforme esquema da fig. 8. Potência da turbina 730 kW, produção de vapor 3,75 t/h, por caldeira.

t = Turbina a gás
k = Compressor
d = Caixa de engrenagens
g = Gerador
e = Excitatriz
m = Motor de arranque
f = Filtro de ar
b = Câmara de combustão
r = Permutador térmico
a = Queimador de óleo
c = Caldeira de vapor
h = Chaminé

(Ateliers de Construction Oerlikon, Zurique.)



para tornar o material adequado para ser combustível. Além disso, os gases de escape, com 900 a 1000° C podem ser conduzidos a caldeiras de calor de escape, para assim produzir água quente ou vapor. Na construção de todos os permutadores térmicos que possam empregar-se neste caso, deve tomar-se em consideração o forte depósito de poeiras e deve cuidar-se por isso, de boas possibilidades de limpeza (fig. 10). Evidentemente será também necessário eliminar as poeiras dos gases de fumo, antes de os fazer expulsar através da chaminé, e como são altamente corrosivos, deve-se prever um revestimento correspondente da chaminé, assim como evitar qualquer condensação dos gases. A utilização do calor recuperado depende fortemente das condições locais. Caso haja poucas possibilidades para abastecer consumidores de calor, fica aberta a possibilidade da produção de energia, e pode-se de novo pensar num emprego da turbina a ar, cujo ar de escape é reconduzido à fornalha. Evidentemente deve-se tomar em consideração o estado de limpeza do aquecedor de ar.

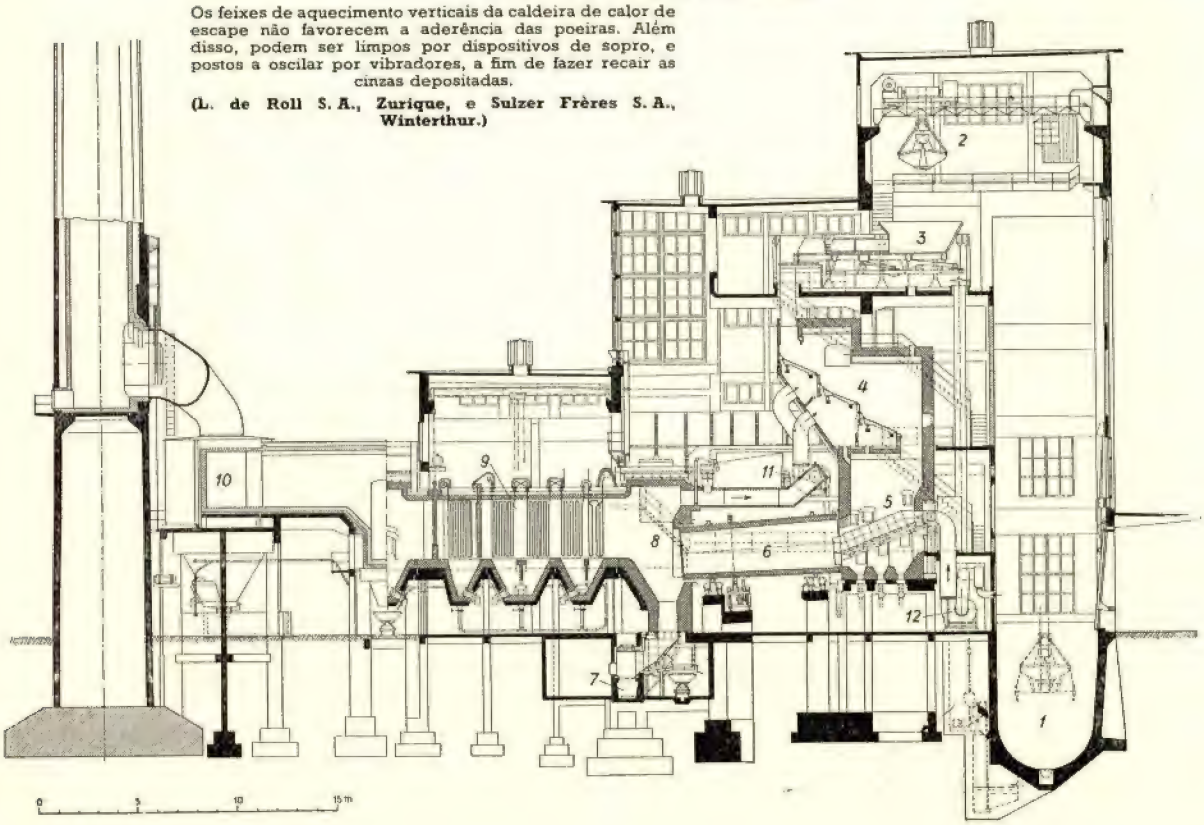
Também nos processos químicos podem resultar gases quentes de escape, como por ex., na combustão de amoníaco para a produção de ácido nítrico. Neste caso, são aproveitados primeiro para o aquecimento prévio do ar comburente, mas ficam depois ainda bastante quentes para produzir também vapor de água sobreaquecido, após um esfriamento posterior para eliminar o condensado. Dentro de torres de absorção forma-se, dos compostos de nitrogénio-oxigénio, o ácido nítrico, e os gases pobres compostos quase só de nitrogénio, que devem ser removidos. A resistência à tiragem de toda a aparelhagem vence-se por meio dum turbo-compressor. Uma pressão de trabalho mais elevada nas torres de absorção favorece o processo e permite empregar aparelhos mais pequenos. Os gases pobres, que escapam com pressão elevada, são expandidos sob fornecimento de trabalho dentro duma turbina de recuperação, depois de terem passado por um permutador térmico, onde retiram, em regime de contracorrente, o calor dos gases expulsos com temperatura mais elevada do turbo-compressor. Em todo seu conjunto, temos aqui um sistema engenhoso do aproveitamento do calor de escape. O vapor de água produzido alimenta uma turbina a vapor, que por sua vez acciona o turbo-compressor, encontrando-se montada no mesmo veio também a turbina de recuperação (fig. 11). Para o arranque, assim como para compensar

Fig. 10. Corte longitudinal duma instalação de queima de lixo.

1 = Fossa de lixo
2 = Guindaste rolante com escavadeira
3 = Transportador de vibração
4 = Grelha de secagem prévia de três escalões
5 = Grelha de início de combustão
6 = Tambor rotativo
7 = Calha de extinção das escórias e de transporte
8 = Câmara de combustão
9 = Caldeira Lamont para o calor de escape
10 = Ciclone duplo para eliminar as cinzas arrastadas
11 = Soprante para o gás de aquecimento
12 = Soprante para o ar inferior

Os feixes de aquecimento verticais da caldeira de calor de escape não favorecem a aderência das poeiras. Além disso, podem ser limpos por dispositivos de sopro, e postos a oscilar por vibradores, a fim de fazer recair as cinzas depositadas.

(L. de Roll S. A., Zurique, e Sulzer Frères S. A., Winterthur.)



as eventuais variações de serviço, deve ainda dispor duma outra fonte de vapor.

Em relação com os diversos processos químicos, pode também produzir-se vapor pela expansão de mostos, lixívias e outras soluções, que se retiram sob pressão e a temperaturas de ebulição correspondentemente elevadas dos recipientes de reacção. Quando a instalação da fábrica inclue também aparelhagens de concentração que trabalham a vácuo, o vapor expandido pode neste caso servir para o aquecimento, sendo o mesmo assim arrefecido até a uma temperatura inferior ao ponto de ebulição à pressão atmosférica e por fim completamente condensado, de modo que sai como água através dum tubo de queda ou duma bomba. O mosto ou a lixívia arrefece-se igualmente até a uma temperatura inferior ao ponto de ebulição, à pressão atmosférica. Não havendo possibilidade para fazer condensar o vapor expandivo sob vácuo, é possível fazê-lo aspirar por meio dum compressor e pô-lo sob pressão, para de novo fazê-lo voltar, como fornecedor de calor, ao processo. No entanto, quando o vapor expandido contém componentes que não devem ser transportados pelo compressor, como é o caso, por ex., na sacarificação da madeira, intercala-se ainda água como portador intermédio do calor, o que exige no entanto o emprego dum condensador especial de superfície, para o vapor de expansão.

Para a concentração a vácuo é possível aproveitar com vantagem não sòmente o vapor de escape, mas também ar de escape quente e eventualmente húmido. Encontramos tal solução, por ex., nos secadores por pulverização, onde o ar, nas câmaras de pulverização, se enriquece fortemente com humidade e deve por isso ser constantemente renovado. O calor que se retira com ele das câmaras, serve depois em parte, como já foi indicado, para a concentração prévia das soluções que depois se pulverizam.

Tal como no arrefecimento do coque a seco, recupera-se também calor de escape, de corpos sólidos, no fabrico de cimento. O clínquer, produto final dos fornos rotativos, sai em estado incandescente e é arrefecido bruscamente por meio de ar, o qual, fortemente aquecido, é depois conduzido ao forno rotativo para servir de ar comburente. Além da recuperação do calor, deve resultar assim também um melhoramento da qualidade do produto.

Nas fundições, os gases de escape dos fornos de cúpula e a refrigeração das camisas dos fornos eléctricos de fusão, fornecem calor de escape que é aproveitado com vantagem não só para armários de secagem, mas também para chuveiros e outras instalações de lavagem necessárias sobretudo neste ramo. Também os fornos eléctricos de fusão nas fábricas de vidro fornecem água quente pela refrigeração dos electrodos. A fim de evitar incrustações, trabalha-se aqui em circuito fechado, do qual se retira o calor de novo com água, dentro de refrigeradores tubulares. A água quente secundária serve para o aquecimento do fundo dos silos de areia, pelo que se prèaquece a areia e se leva esta a um conteúdo de humidade regular. Também, aqui, a regularidade da introdução no forno contribui para uma maior regularidade do produto final.

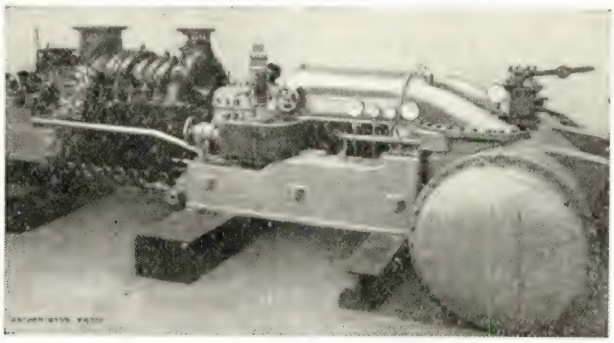


Fig. 11. Grupo de turbo-compressores para gases nitrosos na produção de ácido nítrico. A turbina de vapor de condensação (à direita) recebe vapor da caldeira de calor de escape, e dentro da turbina de recuperação (à esquerda) os gases de escape pobres expandem-se cedendo trabalho.
(Escher Wyss S. A., Zurique.)

Toda a sobrealimentação com um turbo-sobrealimentador de gás de escape representa, na sua finalidade, um aproveitamento do calor de escape, quer seja em relação com processos químicos, com câmaras de combustão de geradores de vapor ou aquecedores de ar, ou com motores Diesel. Estes últimos fornecem, com ou sem sobrealimentação, maiores quantidades de calor nos gases de escape e na água de refrigeração, de modo que se torna possível alimentar com elas não sòmente vastas instalações de aquecimento de fábricas e outros serviços, equipadas com centrais Diesel, mas muitas vezes também numerosas habitações dos empregados a distâncias convenientes (fig. 12). Onde se necessita vapor, conduzem-se os vapores de escape através de caldeiras de calor de escape (fig. 13), que são ainda dotadas com fornalhas adicionais (fig. 14 e 15) para os períodos de fraca solicitação do motor ou de maior consumo de vapor. Também num funcionamento dos motores a óleos pesados, dispõe-se ainda de bastante calor para o aquecimento prévio do combustível.

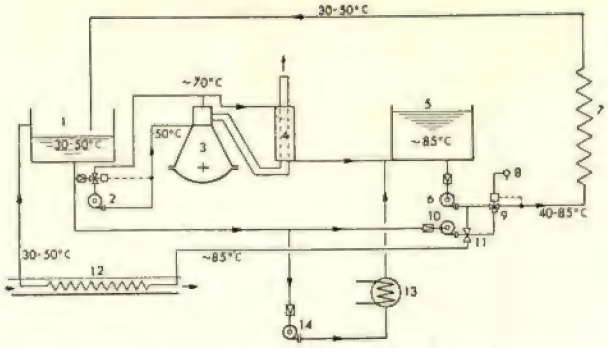


Fig. 12. Esquema do aproveitamento do calor de escape dum motor Diesel com aproveitamento do calor das camisas de refrigeração e dos gases de escape.

O calor é suficiente para o aquecimento central de grupos completos de edifícios. Durante o verão, um refrigerador de retorno regula a temperatura da água de refrigeração.

1 = Depósito da água de retorno
2 = Bomba da água de refrigeração
3 = Motor Diesel
4 = Utilizador dos gases de escape
5 = Depósito da água do curso de avanço
6 = Bomba do aquecimento central
7 = Aquecimento central
8 = Termostato da temperatura dos gases de escape
9 = Válvula de mistura
10 = Bomba de mistura
11 = Válvula do refrigerador de retorno
12 = Refrigerador de retorno para o serviço de verão
13 = Gerador de água quente
14 = Bomba de carga

(Sulzer Frères S. A., Winterthur.)

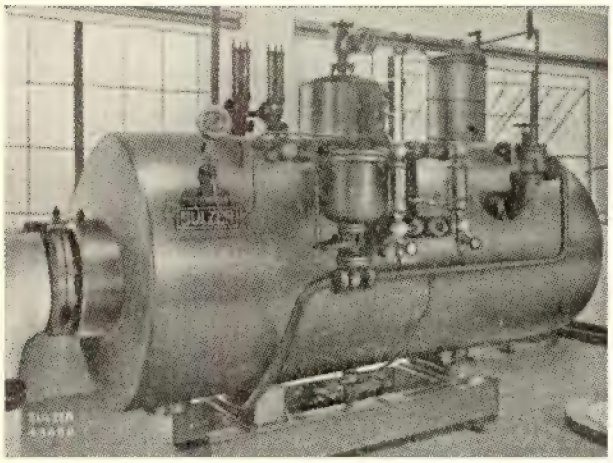


Fig. 13. Utilizador de gases de escape de motor Diesel, para geração de vapor. Superfície de aquecimento 35 m²; pressão de serviço 4,2 atm. de sobrepressão. Produção de vapor = 190 kg/h a 600 CV de potência do motor.

(Sulzer Frères S. A., Winterthur.

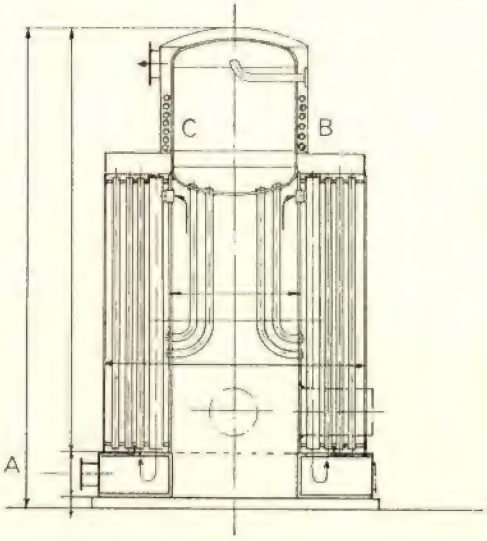


Fig. 14. Caldeira tubular vertical, para a geração de vapor por meio dos gases de escape de motores Diesel, equipada com fornalha adicional. Os gases de escape dos motores são conduzidos só através dos tubos de fumo exteriores, com corrente ascendente.

A = Entrada dos gases de escape Diesel
B = Sobreaquecedor
C = Nível mínimo da água

(Sociedade Suiça para a Construção de Locomotivas e Máquinas, Winterthur.)

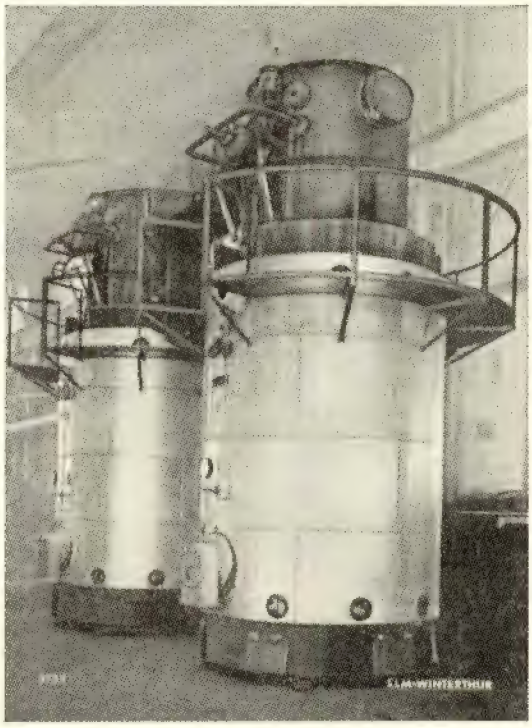


Fig. 15. Vista de 2 caldeiras para calor de escape, com fornalha adicional segundo a fig. 14. Superfície de aquecimento 160 m² cada, sobrepressão de serviço 9 atm., a ligar a 3 motores Diesel a quatro tempos, de 1200 CV cada. Produção do vapor por meio do calor de escape 500 kg/h, produção máxima 3000 kg/h, cada

(Sociedade Suiça para a Construção de Locomotivas e Máquinas, Winterthur.)

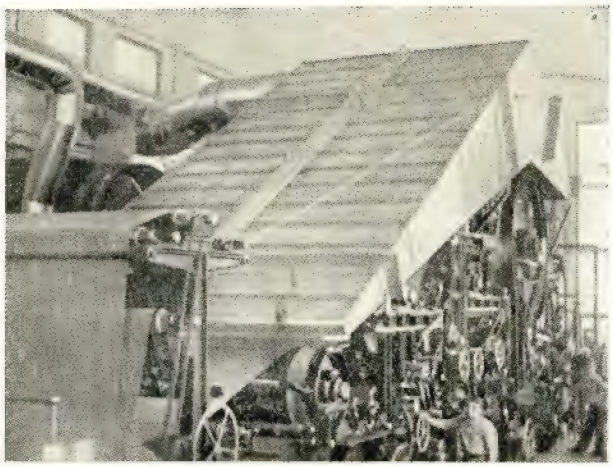


Fig. 16. Capota para captar os vapores exalados por cima do sector seco duma máquina de papel.

A forma de construção ilustrada deixa livre grandes partes da máquina para a observação e as manobras. Existe além disso outra forma de construção mais fechada, com pontes de manobra no interior. Quanto mais fechada fôr a capota, tanto menor é o acesso de ar falso.

(Jöler A.-G., Hauptwil, Thg.)

Quando se acciona com o motor Diesel ainda uma bomba de calor que retira o calor da proximidade, por exemplo da água do rio ou do lençol da água subterrânea e que assim prèaquece a água de refrigeração do motor, pode o motor portanto ceder um calor total que corresponde ao valor calorífico de uma quantidade de óleo muito maior do que a consumida pelo motor. Ao mesmo tempo, o motor fornece ainda uma quantidade considerável de energia eléctrica à rede. A aplicação da bomba de calor para o aproveitamento do calor de escape é aliás objecto dum capítulo especial.

Na indústria do papel, o aproveitamento do calor de escapeé hoje efectuado de maneira muito intensiva. Por cada kg de papel acabado devem evaporar-se 1,5 kg de água no sector seco da máquina de papel, e o vapor resultante remove o calor de 1,1 kg de carvão. Por isso condensam-se os vapores exalados, e produz-se com estes ar quente que é de novo soprado debaixo do sector seco. Uma capota adequadamente construída, montada sobre a máquina de papel (fig. 16) e que não deve dificultar as manobras, diminui também o acesso de ar falso, o que melhora o rendimento da secagem. Para a secagem dos feltros, o chamado ar inferior dos feltros é ainda mais aquecido, em parte por meio do condensado dos cilindros de secagem e em parte pelo aproveitamento do calor de compressão dos turbo-compressores ligados às caixas de aspiração do sector de crivo. Além do lucro de calor, consegue-se deste modo também um aumento da longevidade dos feltros. Com uma construção vantajosa da instalação, consegue-se obter assim bastante ar quente para aquecer no inverno toda a fábrica, enquanto que, no verão, uma parte do calor de escape é ainda aproveitada para prèaquecer a chamada água de projecção para o sector de crivo (fig. 17). A extracção da água no sector de crivo é favorecida pela redução da viscosidade a temperaturas mais elevadas, uma propriedade que é aproveitada em diversos processos de filtração e que proporciona assim possibilidades para o aproveitamento do calor de escape. Na construção das aparelhagens extensas, há actualmente tendência para um afastamento das bolsas permutadoras (fig. 18) a favor do emprego dos refrigeradores tubolares, ou de blocos de paredes finas de folha de alumínio pregueada.

Das fábricas de polpa de papel (material inicial para o fabrico de muitos tipos de papel) costumam sair sobretudo, em tempo mais frio, fortes vapores das pol-

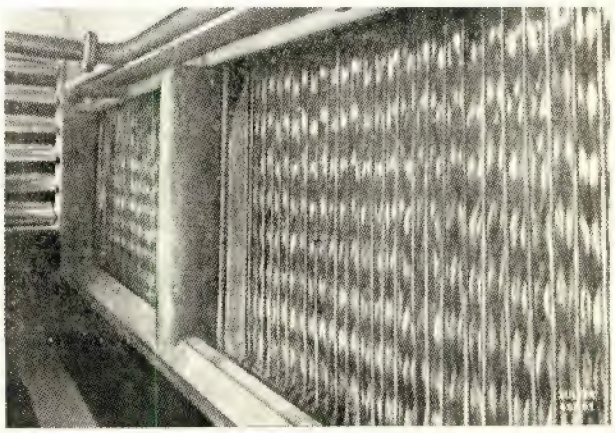


Fig. 17. Permutador térmico para a transmissão directa do calor dos vapores exalados à água regada que escorre ao longo de tiras de chapa torcidas (sistema pat.). Nestes aparelhos faz-se o aquecimento prévio, por ex., da água a projectar no sector de crivo das máquinas de papel.

(Sulzer Frères S. A., Winterthur.)

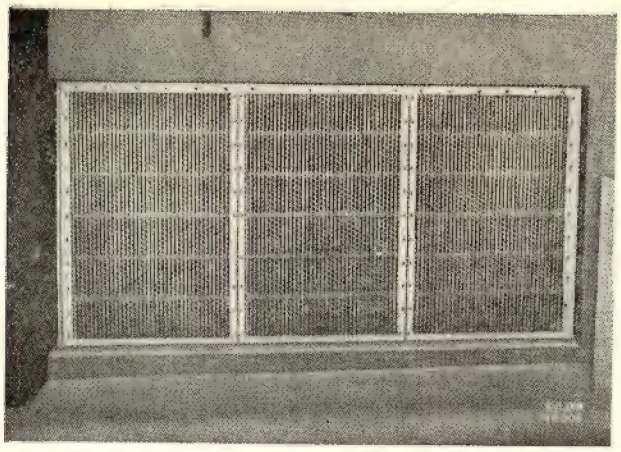


Fig. 18. Permutador térmico para o aquecimento prévio do ar fresco pelo calor dos vapores exalados duma fábrica de papel. A construção aqui apresentada é chamada permutador de bolsas, a qual é actualmente substituída, em parte, pelos refrigeradores tubulares.

(Sulzer Frères S. A., Winterthur.)

pas húmidas e quentes. Todavia, estes vapores de escape são demasiadamente diluídos e também demasiadamente frios para o seu aproveitamento em permutadores térmicos. Para remover os vapores das salas de trabalho recorre-se ao ar quente de escape da refrigeração interior dos grandes motores eléctricos de accionamento, e consegue-se assim, sem custos adicionais, um êxito de cem por cento.

Vapores exalados resultam também em numerosos outros ramos de fabrico, onde igualmente, em parte, são captados e aproveitados, como, por ex., na indústria têxtil e em especial nos serviços do acabamento de produtos têxteis. Todavia, em muitos casos, os períodos de serviço dos diversos aparelhos são demasiado curtos ou irregulares para se poderem aproveitar ainda de maneira económica estes vapores exalados. Prefere-se por isso, se fôr possível, suprimir a formação destes vapores pelo emprego de aparelhos fechados, pelo que se economiza ao mesmo tempo calor. Nas máquinas de apresto escorre muito líquido de banho quente, cujo calor pode ser aproveitado com vantagem dentro de permutadores térmicos para aquecer água para usos diversos. Deve-se tomar em consideração, neste caso, também a saída de ácidos, bases, sais e outros produtos químicos, bem como de fibras têxteis. Águas usadas, mostos, lexívias ou condensados em estado quente resultam ainda em numerosos outros ramos, onde o seu calor pode ser aproveitado para a produção de água quente, quer seja nas indústrias químicas, nas fábricas de açúcar, nas saboarias ou nas fábricas de cerveja, onde, a seguir aos aparelhos de estufa da preparação do malte, poderiam ser úteis aparelhos para a recuperação do calor.

Nos casos onde se dispõe de muito calor de escape, mas duma temperatura tão baixa que não se pode pensar na aplicação dos simples permutadores térmicos com recondução do calor aos lugares de consumo, é possível elevá-lo por meio da bomba de calor até a uma temperatura mais alta e deste modo, por assim dizer, revalorizá-lo. Como se sabe, as bombas de calor e as máquinas frigoríficas são máquinas idênticas; elevam o calor de um nível de temperatura inferior até a outro superior. Enquanto que, na máquina frigorífica, interessa a extracção do calor a baixas temperaturas, na bomba de calor interessa a cedência do calor no nível superior de temperatura, que inclui ainda o equivalente de calor do trabalho do compressor. Este trabalho de compressor é tanto menor, quanto menor for o escalão de temperatura. Por isso, nas máquinas frigoríficas, é preferido ceder o calor a uma água de refrigeração o mais fria possível, de modo que este calor só em casos muito raros é directamente aproveitado. Uma tal excepção, proporciona-se, por ex., num rinque de patinagem de gelo artificial, onde o condensador da máquina frigorífica é resfriado por meio de água da canalização de água potável, voltando esta água depois de novo à canalização principal, de modo que uma cidade inteira pode assim beneficiar dum modesto aumento da temperatura da água potável no inverno. Sondas eléctricas e um sistema de alarme vigiam para que não possam penetrar produtos químicos na água potável, o que poderia acontecer em caso de defeitos de vedação no condensador. Assim, bombando com a máquina frigorífica o calor até a um nível superior à temperatura do ambiente, obtém-se por um lado uma potência frigorífica utilizável e, por outro, uma potência calorífica disponível, ainda maior. Dispondo de temperaturas moderadas no curso de avanço do sistema de aquecimento, o custo adicional do trabalho de compressor é reduzido, visto que, se assim não fosse, seria então necessário levar o calor ainda até à temperatura do ambiente. Também na instalação mecânica torna-se necessário apenas um pequeno custo adicional. Nos compressores de um só escalão eleva-se simplesmente a relação de compressão, sendo todavia necessário resfriar ainda o fluido portador de frio por meio de

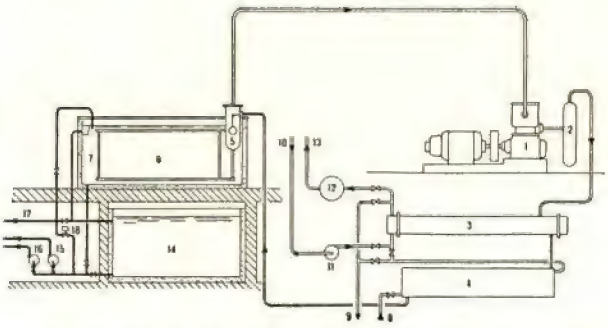


Fig. 19. Instalação combinada de bombas de calor e de frio numa fábrica de cerveja. No inverno, o calor da solução salina para a refrigeração das caves é bombeado por um só escalão, dentro dum permutador térmico, para fora, a fim de servir para produzir água de aquecimento. A este permutador térmico está ligado um refrigerador posterior com água fria.

1 = Compressor
2 = Eliminador de óleo
3 = Condensador
4 = Refrigerador posterior para o condensado do agente frigorífico
5 = Regulador automático de nível
6 = Evaporador de tubos ingremes
7 = Tanque de solução salina
8 = Entrada da água refrigeradora
9 = Saída da água refrigeradora
10 = Retorno da água de aquecimento
11 = Bomba de circulação da água de aquecimento.
12 = Instrumento medidor das quantidades de calor
13 = Avanço da água de aquecimento
14 = Acumulador de frio
15 = Bomba de circulação da solução salina fria
16 = Bomba de circulação da solução salina fria
17 = Retorno da solução salina
18 = Válvula automàticamente comandada da adição do retornopara mistura

(Escher Wyss S. A., Zurique.)

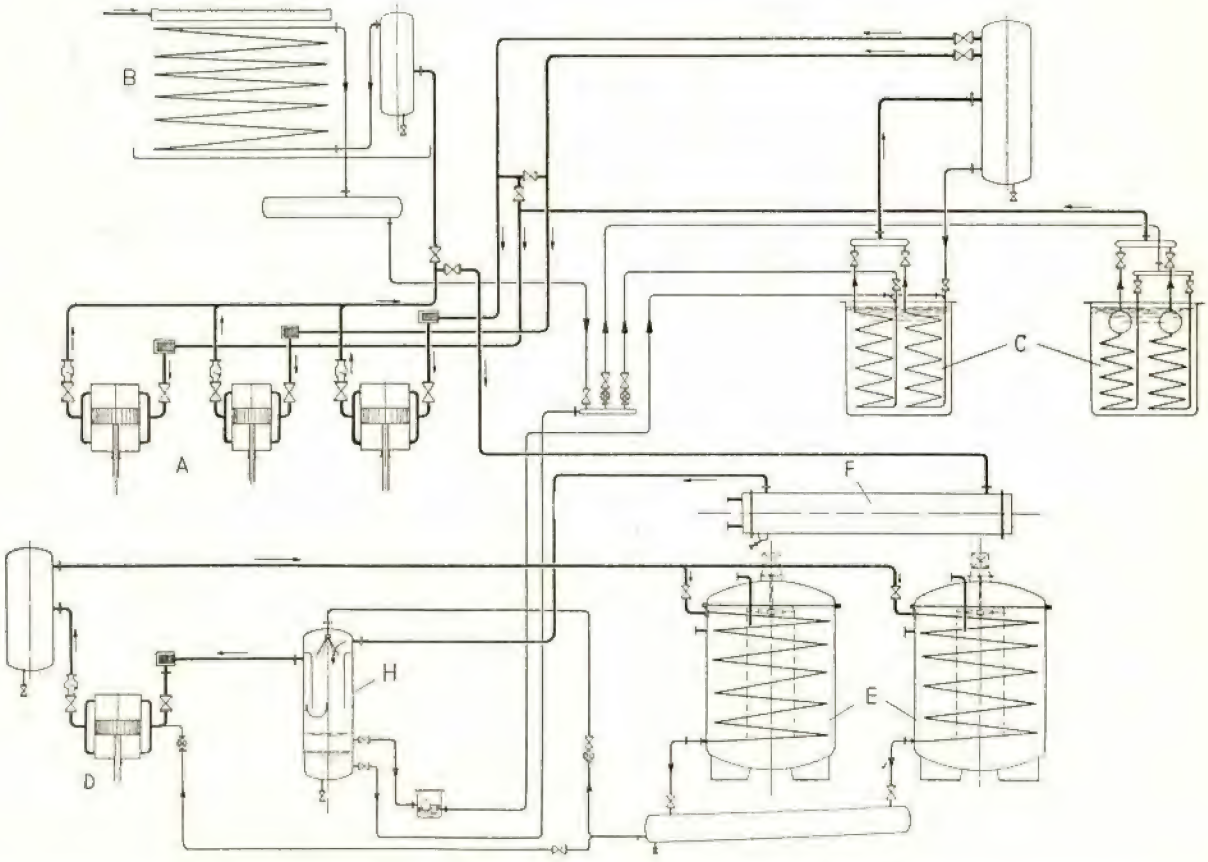


Fig. 20. Esquema duma instalação combinada de bombas de calor e de frio numa fábrica de seda artificial. Toda a diferença de temperatura entre os evaporadores e os convertedores de aquecimento é vencida em 2 escalões com remoção do gás por aspiração pelo segundo escalão do compressor. No puro serviço de frio, os compressores de refrigeração « A » trabalham sobre um condensador de rega « B », mas no serviço da bomba de frio sobre o refrigerador de gás « F », de onde o fluido portador de frio segue, através do segundo escalão de compressor « D » (bomba de calor) para dentro dos condensadores « E » que trabalham como convertedores de aquecimento.

A = Primeiro escalão de compressão
B = Condensador do 1° escalão
C = Evaporador
D = Segundo escalão de compressão
E = Condensador do 2° escalão isto é, convertedor de aquecimento
F = Refrigerador de gás
H = Colector intermédio com líquido portador de frio injectável

(Sulzer Frères S. A., Winterthur.)

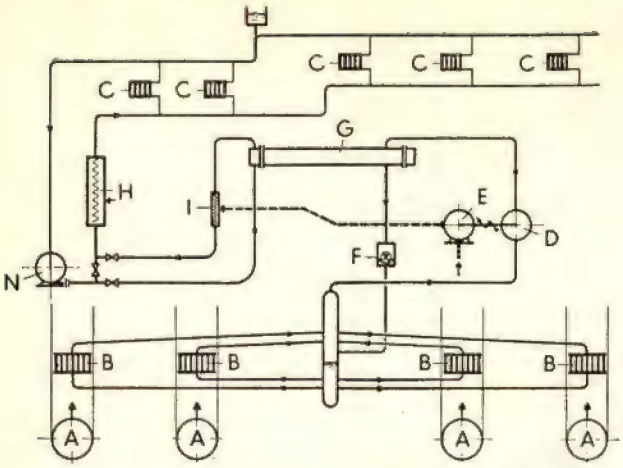


Fig. 21. Esquema duma instalação de bombas de calor numa central hidro-eléctrica para a exploração do calor de escape dos geradores para o aquecimento central de edifícios. Os evaporadores estão montados nos canais do ar de escape dos geradores. Podem prever-se eventualmente permutadores adicionais para receber ainda o calor da água de refrigeração dos refrigeradores de óleo para o arrefecimento das chumaceiras e dos transformadores.

A = Geradores
B = Evaporadores
C = Superfícies de aquecimento para o aquecimento dos edifícios
D = Compressor
E = Motor
F = Orgão regulador
G = Condensador
H = Aquecedor de passagem
J = Resistência reguladora
K = Bomba de circulação para a água de aquecimento

(Escher Wyss S. A., Zurique.)

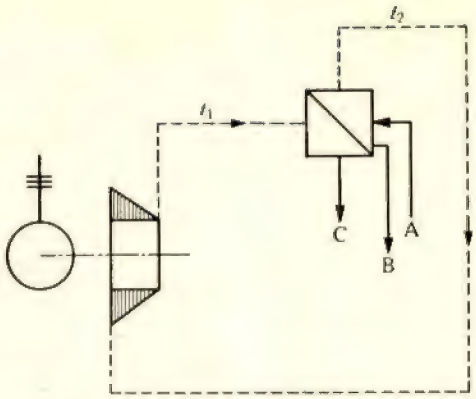


Fig. 22. Esquema dum termo-compressor. Como caso especial da bomba de calor encontram-se reunidos, no termo-compressor, o condensador e o evaporador, num só aparelho. O vapor de aquecimento que se condensa com a temperatura t_1, serve para evaporar o líquido a concentrar. Os vapores exalados, com a temperatura de vapor saturado t_2, são comprimidos no compressor até à pressão que corresponde à temperatura de vapor t_1.

A = Solução diluída B = Concentrado C = Condensado

(S. A. Brown, Boveri & Cie, Baden.)

água fria a seguir ao permutador térmico do aquecimento (fig. 19), a fim de evitar perdas de frio. Há neste caso a perda do calor do refrigerador posterior. Na compressão bi-escalonada, onde se trabalha com aspiração do vapor depois da primeira redução, não se dá tal perda de calor (fig. 20), visto que não é necessária uma refrigeração posterior.

Independentemente da produção de frio, a bomba de calor pode ser aplicada com vantagem no aproveitamento do calor de escape, fazendo bombar qualquer calor de escape de temperatura menos elevada, por exemplo de banhos termais ou medicinais, de novo até temperaturas mais elevadas para o ceder à água fresca ou ao aquecimento do pavimento, ou elevando o calor de escape de geradores, transformadores e refrigeradores de óleo nas centrais hidráulicas a uma temperatura aproveitável para o curso de avanço do aquecimento central (fig. 21). Poderiam citar-se ainda numerosos exemplos. Também os processos de secagem podem ser tornados mais racionais e ao mesmo tempo mais acelerados por meio da bomba de calor, como se pode provar de maneira evidente no exemplo duma instalação de secagem duma fábrica de tijolos.

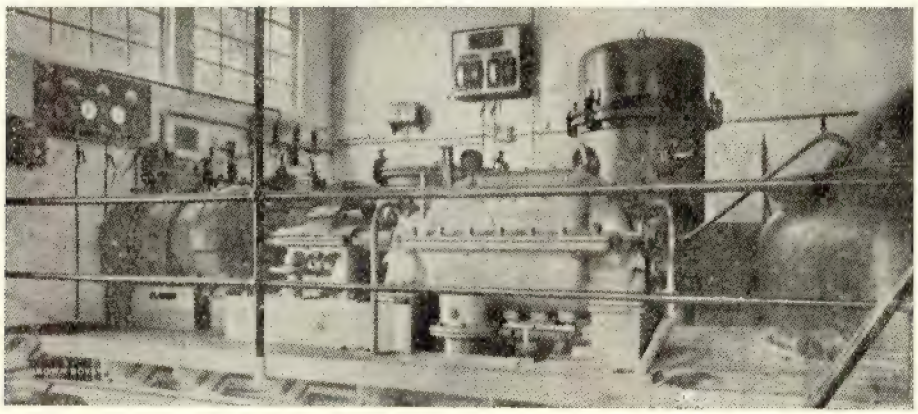


Fig. 23. Instalação concentradora com turbo-compressor como termo-compressor. O termo-compressor provou ser excelentemente adequado e económicamente vantajoso para concentrar líquidos sensíveis ao calor, tais como leite, sumos de frutos, preparações farmacêuticas líquidas, etc. A quantidade evaporada do termo-compressor ilustrado é de 2000 kg/h. As pressões de vapor correspondem temperaturas de vapor saturado de 40° C para os vapores exalados e de 61° C para o vapor de aquecimento

(S. A. Brown, Boveri & Cie, Baden.)

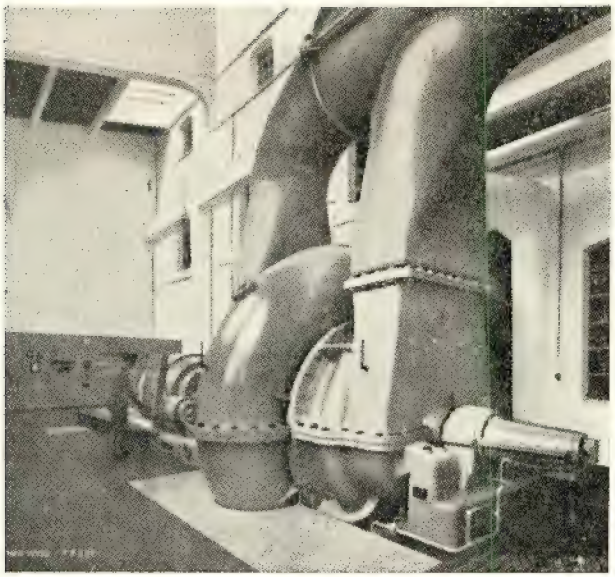


Fig. 24. Turbo-compressor a vapor para uma instalação de termo-compressão numa fábrica de açúcar, para concentrar mosto diluído, de 15 até 65 % de açúcar.

Capacidade de aspiração 125.000 kg/h de vapor da temperatura de vapor de mosto de 96° C; compressão até 106° C; potência de accionamento do motor Oerlikon 4750 CV.

(Escher Wyss S. A., Zurique.)

O ar de escape húmido e quente é resfriado no evaporador da bomba de calor, cedendo assim calor ao fluido portador de frio, sobretudo porque se condensa uma parte da sua humidade, de modo que a sua humidade absoluta se reduz fortemente. Em seguida, o ar desumedecido absorve de novo, no condensador, o calor anteriormente cedido, aumentado pelo equivalente do trabalho da máquina, e torna-se assim não sòmente quente, mas também relativamente seco.

A utilização da bomba de calor para concentrar líquidos, como caso de limite do aproveitamento do calor de escape, deve pelo menos ser citada nesta relação Neste processo, que se tornou conhecido sob o nome de termo-compressão, o calor, retirado dum recipiente em forma de vapor de escape ou vapores exalados, é elevado, pela compressão dos vapores, até a uma temperatura mais alta e é utilizado logo a seguir para o aquecimento do mesmo recipiente (fig. 22). Este processo, hoje de domínio público, é aplicado por numerosas empresas, usando diferentes compressores conforme o volume e a relação de compressão dos vapores exalados aproveitados (fig. 23 e 24).

O presente artigo não reivindica de qualquer maneira ter tratado por completo o problema do aproveitamento industrial do calor de escape. Todavia, as indicações sobre as mais diversas disposições, conforme temperatura e proveniência do calor de escape disponível e conforme às possibilidades de aproveitamento, por meio de numerosos exemplos da prática, poderão servir para tornar mais conhecido, ao interessado, este ramo especial do orçamento de energia, e sobretudo indicar-lhe meios e caminhos para sectores que talvez ainda não foram abertos ao aproveitamento do calor de escape no seu próprio serviço. Como já inicialmente mencionamos, todo este problema está estreitamente ligado ao problema dos fenómenos secundários, tais como a sujidade e a corrosão, e só um cálculo minucioso do rendimento poderá muitas vezes evitar o perigo de desilusões, sendo por isso recomendável recorrer a um perito experimentado para a sua solução.

NOTAS TÉCNICAS

C. D. 621.436

Motor Diesel de marcha quase silenciosa

É do conhecimento comum que num Diesel normal os ruídos produzidos pela combustão são consideráveis, devido às próprias características de funcionamento. Na Feira de Hannover fizeram-se demonstrações com um motor Diesel dotado de um método de combustão aperfeiçoado, que se dominou o método «M», distinguindo-se dos processos anteriores pela ausência quase total de ruídos, com reduzido consumo de combustível e bom comportamento no arranque. Este resultado foi obtido por três caminhos: introduzindo um deflector na cabeça da válvula de admissão, modificando-se a cabeça de êmbolo e alterando a construção

GANZ
GANZ
Motores eléctricos «GANZ» de fama mundial.
Entregas rápidas até 60 CV.
Temos também para entrega a curtos prazos
aparelhos de alta e baixa tensão.
Para informações pormenorizadas dirigir-se
a
»TECHNOIMPEX«
EMPRESA HUNGARA PARA O COMÉRCIO
EXTERNO DE MAQUINARIA
Budapeste 62
C. P. 183
HUNGRIA
Para informações sobre a importação é favor dirigir-se a
HERBERT SCHINKEL
Avenida António Augusto de Aguiar, 187, 3.º-E.
Tel. 44222
LISBOA

Mangueiras com arame é uma velharia

—

O arame é uma má defesa das mangueiras ordinárias, sujeitando-as a cortes e a deformações permanentes

As mangueiras **GOODYEAR** são mangueiras modernas

Não precisam de arame — Resistem por si próprias

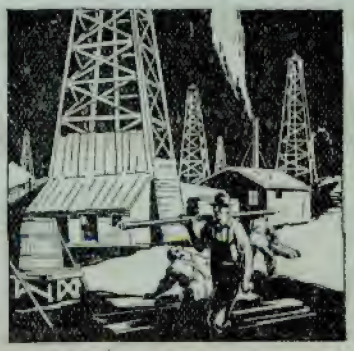
Distribuidores Exclusivos: CANELAS & FIGUEIREDO, LIMITADA

Telefones { 2 5058 / 2 4502

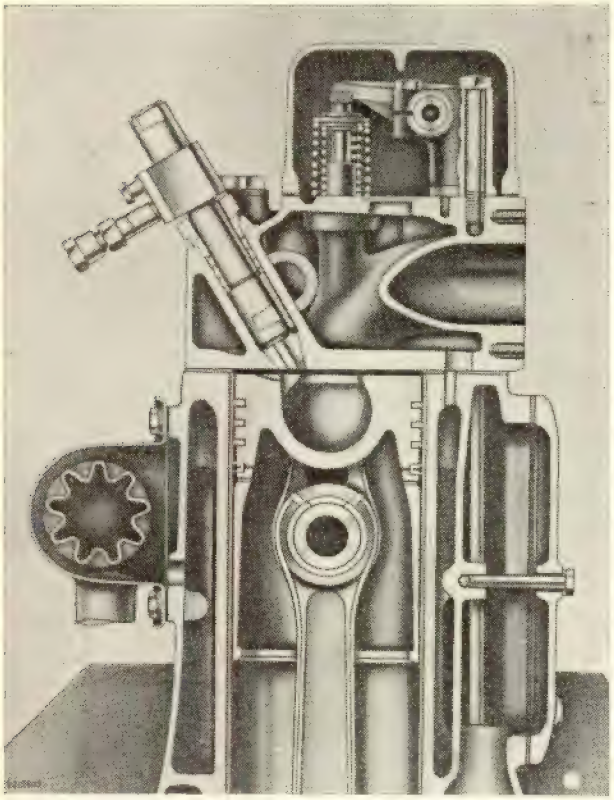
RUA DOS FANQUEIROS, 46

LISBOA

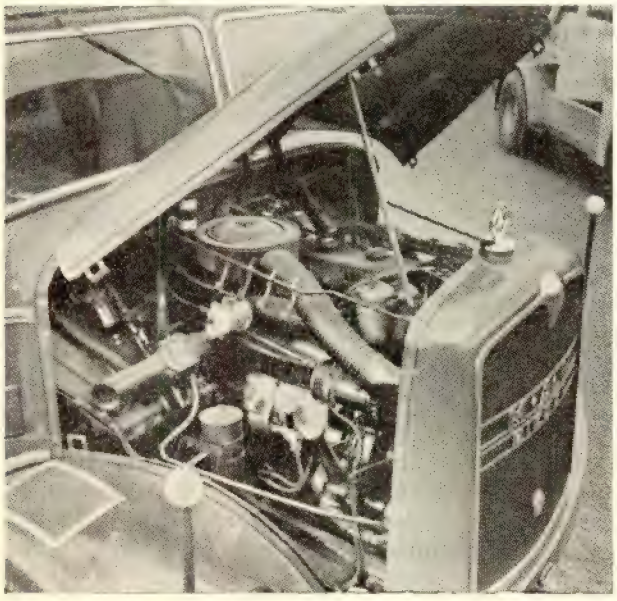
Telegramas: CANELASCO



do pulverizador de injecção. Dotou-se a cabeça da válvula com uma pestana que imprime um movimento de circulação ao ar de admissão, obrigando-o a girar ràpidamente em torno do eixo do cilindro. Devido à força viva da massa de ar, o movimento de rotação



mantém-se durante toda a fase de compressão, criando forte turbulência ainda durante o período de injecção. O ar, na parte final da compressão, é introduzido na câmara de combustão, de forma esférica e embutida



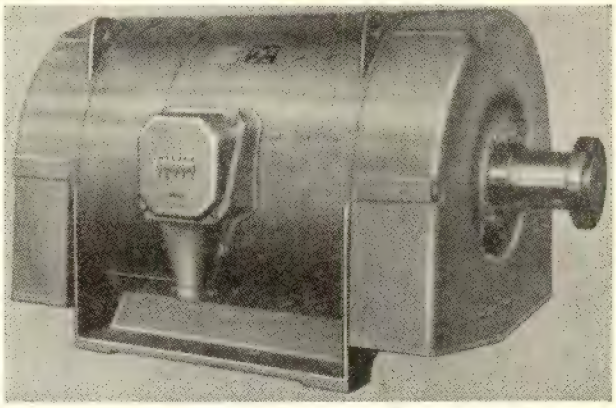
na cabeça do êmbolo, onde a turbulência se mantém permitindo uma mistura íntima com o combustível aí injectado por um pulverizador de dois jactos. A combustão desenvolve-se portanto com continuidade e completamente, e simultâneamente com forte diminuição de ruído.

(MAN Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg AG., Nürnberg).

C. D. 621.313.3
621.316.7

Geradores trifásicos de regulação automática

Para manter constante a tensão dos geradores trifásicos que varia com a carga, era necessário o uso de reguladores rápidos que todavia possuem uma certa inércia e são de alto preço e muito sensíveis. Por este motivo foram elaborados geradores de regulação automática nos quais são aproveitadas, com o afastamento de rectificadores, resistências, etc., as possibilidades de regulação nas próprias máquinas. Estes geradores são construídos com poténcias de 0,5 a 1500 kVA.



O sistema fixo dos polos destas máquinas possui duas bobinas de excitação, uma para a excitação principal e outra para a excitação auxiliar, produzida numa máquina especial. Os geradores fornecem uma tensão fixa aos terminais, independente do factor de potência e do estado de carga. A tensão desejada é em geral assegurada constante com a diferença de $\pm$ 0, 5 %.

A mudança de tensão é regulada normalmente nos geradores em 0,2 segundos para uma variação de carga abrupta, sobrepujando qualquer regulador rápido. Além disso o enrolamento compound regula a queda de tensão até 5 %, com o gerador ligado a motores Diesel. Com a ajuda de um ajustador de carga reactiva em ligação directa, pode ligar-se a qualquer gerador da mesma marca ou de outra, mesmo tratando-se de geradores de regulação automática, manual ou máquinas trabalhando com reguladores rápidos.

(A. Van Kaick "AvK" Generatoren-und Motorenwerk O. M. G. Frankfort/Main).

BIBLIOTECA
FICHEIRO

Classificadores responsáveis:

Adelino Felgueiras Barreto, António Alves dos Santos, João Armando Costa Marques, João Manuel Martins Pereira, José Carlos Viana Baptista e Mário Canongia Lopes.

Recortar as indicações bibliográficas que formam uma ficha e estão encimadas por C. D. *(classificação decimal)*.

Colar cada referência num pequeno rectângulo de cartolina com 75 × 125 mm..

Ordenar pelos índices decimais, *começando da esquerda para a direita*, independentemente do número de algarismos que o índice contiver.

Consultar, em casos duvidosos, a exemplificação inserida na «Técnica» n.º 218 e seguintes, ou recorrer à Biblioteca da A. E. I. S. T..

Notar que a inserção das fichas nesta publicação respeita a ordem correcta, no intuito de a esclarecer o mais possível.

A comodidade de possuir no próprio local de trabalho um arquivo ordenado e de fácil consulta sobre assuntos que se sabe onde existem, é uma das evidentes vantagens de um ficheiro de Classificação Decimal.

Os assuntos de que estas fichas são referência ficam patentes à consulta a partir desta data.

LIVROS

C. D. 331.87

The development and scope of work study — *R. M. Currie.*

The Institution of Mechanical Engineers, vol. 1, págs. 11.

C. D. 378.1 : 62.004.24

The Athlone fellowship scheme for the practical training in industry of canadian engineering graduates in Great Britain — *W. Abbott.*

The Institution of Civil Mechanical and Electrical Engineers, vol 1, págs. 6.

C. D. 532.595 : 627.844

Transmission of water-hammer pressures through surge tanks — *O. C. Zienkiewicz and P. Haukins.*

The Institution of Mechanical Engineers, vol. 1, págs. 11.

C. D. 533.17 : 533.6.05

A correlation of the resistance to air flow of wire gauzes — *P. Grootenhuis.*

The Institution of Mechanical Engineers, vol. 1, págs. 8.

C. D. 533.17 : 536.244

Some heat and mass transfer experiments on humid air in turbulent flow over a plane containing an isolated cooled region — *B. N. Furber.*

The Institution of Mechanical Engineers, vol. 1, págs. 15.

C. D. 533.6.05 : 533.17

A correlation of the resistance to air flow of wire gauzes — *P. Grootenhuis.*

The Institution of Mechanical Engineers, vol. 1, págs. 8.

C. D. 536.244 : 533.17

Some heat and mass transfer experiments on humid air in turbulent flow over a plane containing an isolated cooled region — *B. N. Furber.*

The Institution of Mechantcal Engineers, vol. 1, págs. 15.

C. D. 536.423.4 + 536.46

The calculation of mass transfer rates in absorption, vaporization, condensation and combustion processes — *P. B. Spalding.*

The Institution of Mechanical Engineers, vol. 1, págs. 24.

C. D. 539.41.621.824.3

Shrink-fit investigations on simple rings and on full--scale crankshoft webs — *Prof. A. S. T. Thonson; Prof. A. W. Scott; C. M. Moir.*

The Institution of Mechanical Engineers, vol. 1, págs. 19.

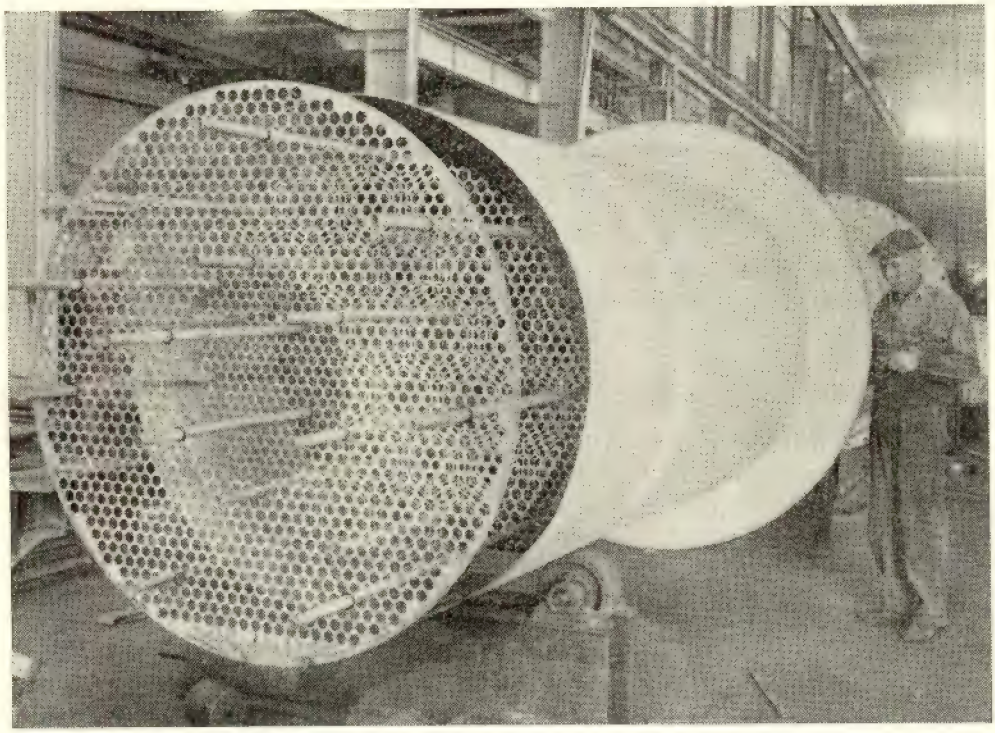
C. D. 539.43 : 620.17

The fatigue strength undes bending, torsional and combined stresses of steel test pieces with stress concentrations — *R. C. A. Thurston and J. E. Field.*

The Institution of Mechanical Engineers, vol. 1, págs. 9.

Avesta

AÇOS INOXIDÁVEIS ANTI-ÁCIDOS E REFRACTÁRIOS



Condensador em aço Inox. Avesta qualidade 832 M V

Fornecido à Sociedade Ibérica del Nitrogénio

Madrid — Espanha

▼

STOCKS PERMANENTES PARA ENTREGA IMEDIATA

Representantes Exclusivos para Portugal:

Senna, Botto & Leitão, Lda.

Sede em Lisboa: Rua Nova do Almada, 18, 1.º
Telef. 26054 / 28904

Filial no Porto: Rua do Almada, 31
Telef. 28170 / 28392

AVESTA JERNVERKS AKTIEBOLAG
AVESTA — SUÉCIA
em actividade desde 1303

C. D. 539.431

Some experiments on the alternating stress fatigue of a mild steel and an aluminium alloy at elevated temperature — *P. G. Forrest and H. J. Tapsell.*

The Institution of Mechanical Engineers, vol. 1, págs. 12.

C. D. 539.431 : 621.924

The effect of grinding on the fatigue strength of steels — *D. N. Cledwyn-Davies.*

The Institution of Mechanical Engineers, vol. 1, págs. 11.

C. D. 541 8 : 6.68.1 + 668.1

Savons et Détergents — *Jacques Beyeron.*

Armand Colin, 1954, vol. 1, págs. 199.

C. D. 62 (492) + 66/8 (492)

The Industrial Netherlands — *F. Q. den Hollander.*

The Institution of Mechanical Engineers, 15-6-954, vol. 1, págs. 14.

C. D. 62.004.24 : 378.1

The Athlone fellowship scheme for the practical training in industry of canadian engineering graduates in Great Britain — *W. Abbott.*

The Institutions of Civil, Mechanical and E. Eng, vol. 1, págs. 6.

C. D. 620.164.3/621.181.5.021

A critical examination of procedures used in Britain and the United States to determine creeps stresses for the design of power plant for Long Life at higd tamperatures; Comparative high-temperature properties of british and american steels — *R. W. Bailey; W. E. Bardgett and C. L. Clark.*

The Institution of Mechanical Engineers, vol 1, págs. 19.

C. D. 620.164.3/621.181 5.021

Creep properties of Steels utilized in high-pressure and high-temperature superheater and Steam pipe pratice; Part III: Revision of Long-Time creep data far a carbon steel header and a carbon-molyldenum steel pipe — *R. W. Ridley.*

The Institution of Mechanical Engineers, vol. 1, págs. 7.

C. D. 620.164.3

The elastic-plastic theory of containers and liners for extrusion presses — *M. R. Horne.*

The Institution of Mechanical Engineers, vol. 1, págs. 12.

C. D. 620.17 : 539.43

The fatigue strength under bending, torsional and combined stresses of steel tert pieces with stress concentrations — *R. C. A. Thurston and J. E. Field.*

The Institution of Mechanical Engineers, vol. 1, págs. 9.

C. D. 620.176

The effect of fluid pressure on the shear properties of metals — *B. Crossland.*

The Institution of Mechanical Engineers, vol. 1, págs. 12.

C. D. 620.178.15 (083.74)

Ensaio de dureza Brinnel.

Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1953, vol. 1, págs. 3.

C. D. 620.178.4

An Experimental investigation of plastic stress-strain relations — *J. L. M. Morrison and W. M. Shepherd.*

The Institution of Mechanical Engineers, vol. 1, págs. 10.

C. D. 620.179

Creep under Complex Stress Systems at Elevated temperatures — *A. E. Johnson.*

The Institution of Mechanical Engineers, vol. 1, págs. 16.

C. D. 620.179.16

A utilização dos ultrasons para o estudo das propriedades dos materiais — *Borges (J. Ferry).*

Lab. Nac. de Eng. Civil, 1954, vol. 1, págs. 18.

C. D. 620.1938 : 691.11

Principais aspectos do problema da protecção de madeiras em especial contra o «Hylotrupes Bajulus» — *Tomás J. E. Mateus.*

Lab. Nac. de Eng. Civil, 1952, vol. 1, págs. 69.

C. D. 620.9.(021)

Power Unleashed — *M. M. Samuels.*

Dorset House Inc. Publishers, 1944, vol. 1, págs. 303.

C. D. 621-27

An investigation of small helical torsion springs — *W. R. Berry.*

Institution of Mechanical Engineers, 6-953, vol. 1, págs. 18.

C. D. 621-332 : 532.542.1

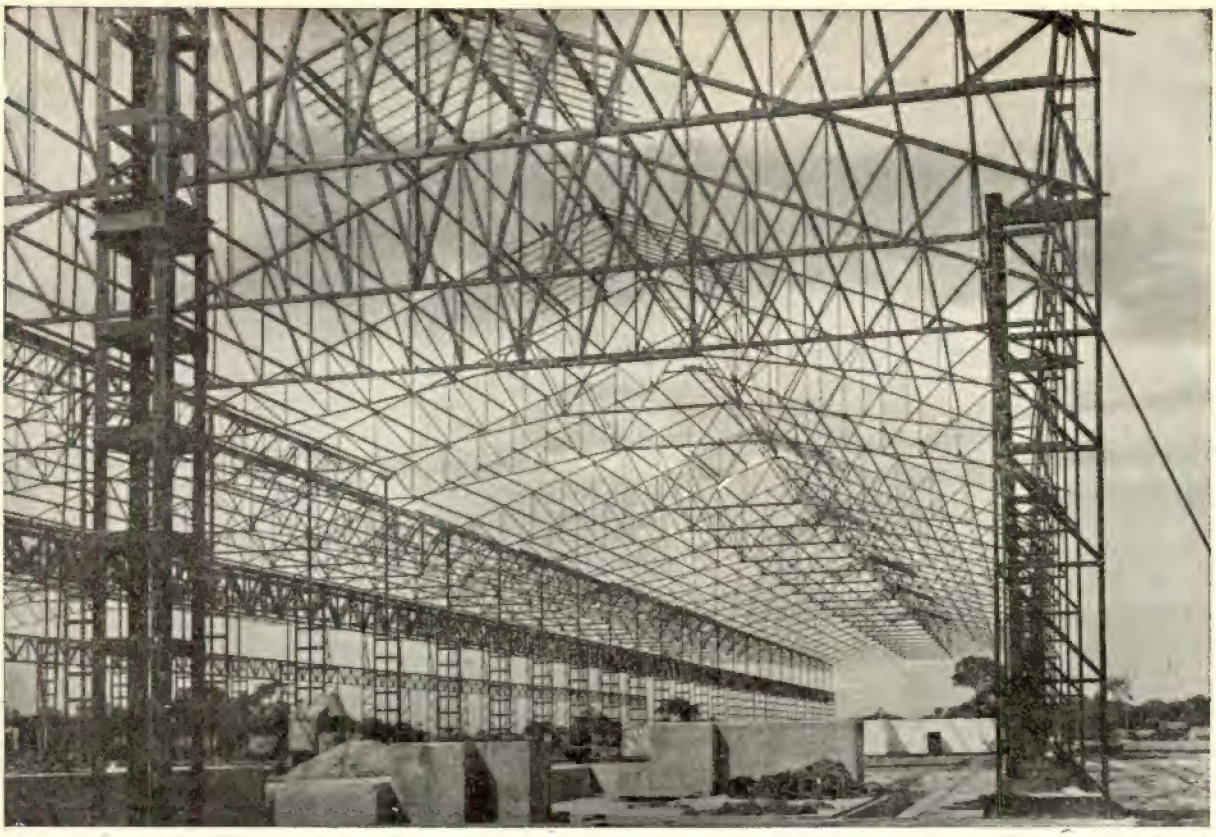
The theory of sudden enlargements applied to the poppet exhaust-valve, with special reference to exhaut-pulse scavenging — *Boris N. Cole* e *Brian Mills.*

Institution of Mechanical Engineers, 7-953, vol. 1, págs. 16.

C. D. 621.1.018 [621.18]

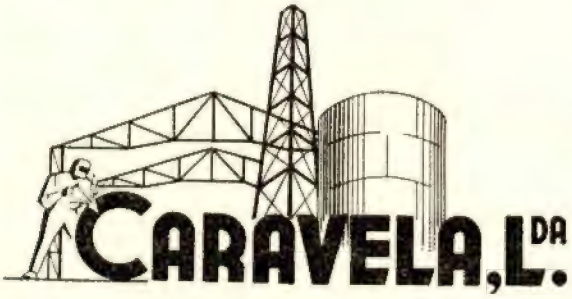
A method of defining availability, service and output factors of steam boilers — *T. E. Houghton* e *G. Nonhebel.*

Institution of Mechanical Engineers, 7-954, vol. 1, págs. 4.



Vista da nave das máquinas das instalações da Lusalite em África
Executada pela Fábrica Metalúrgica e Construtora CARAVELA, LTD.ª (Antiga OMES)

FÁBRICA METALURGICA E CONSTRUTORA



Nesta oficina executam-se também outros trabalhos; como:

Reservatórios, estruturas metálicas para aparelhos de elevação, postes metálicos, condutas metálicas, pontes metálicas, etc.

Sede: Avenida Infante D. Henrique — Talhão 10 — LISBOA

Telef. 399008 / 399480

C. D. 621.9.041

Some Practical Aspects of Cutting Tool nomenclature arising from recent research — *D. F. Galloway.*

The Institution of Mechanical Engineers, vol. 1, págs. 15.

C. D. 621.9.041

Machine Tool Simplification, especially as applied to horizontal boring machines — *C. A. Sparkes.*

The Institution of Mechanical Engineers, vol. 1, pás. 10.

C. D. 621.922 [628.83]

The observation and control of dust at portable abrasive uheels and pneumatic chisels. — *W. B. Lawrie*

The Institution of Mechanical Engineer s, vol. 1, págs. 12.

C. D. 621.923

The measurement of Kinetic boundary friction, or the experimental investigation of «Oilness». The Seizure of Metals — *J. R. Bristow; F. P. Bowden and D. Tabor.*

The Institution of Mechanical Engineers, vol. 1, págs 16.

C. D. 621.924

Design of Precision Grinding Machines — *G. H. Asbridge.*

The Institution of Meohanical Engineers, vol. 1, págs. 8.

C. D. 621.924 : 539.431

The effect of grinding on the fatigue strength of steels — *D. N. Cleduyn — Davies.*

The Institution of Mechanical Engeneers, vol. 1 págs. 11.

C. D. 621.944

Calculation of Roll Force and Torque in Hot Rolling Mills; Measurement and Analysis of Rolling Loads in a Large Hote Plate Mill — *R. Stewartson; R. B. Sims.*

The Institution of Mechaninal Engineers, vol. 1, págs. 20.

C. D. 622.3 (058)

Minerals Yearbook — 1949.

Bureau of Mines, 1949, vol. 1, págs. 1661.

C. D. 622.3. (058)

Minerals Yarbook — 1950.

Bureau of Mines, 1950, vol. 1, págs. 1690

C. D. 622.673.6 : 677.72 [539.385)

Experimental investigation of torsion in stranded mining wire ropes — *C. L. Layland, A. R. Rao* e *H. A. Ramsdale.*

The Institution of Mechanical Engineers, vol. 1, págs. 15.

C. D. 624/8 : 720

O Engenheiro, o Arquitecto e a Construção — *Daniel Vieira Barbosa.*

1953, vol. 1, págs. 16.

C. D. 624.04

O Dimensionamento de Estruturas — *J. Ferry Borges.*

Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1954, vol. 1, págs. 235)

C. D. 624.04.001.57

Vista geral sobre o estado presente do método experimental de dimensionamento das estruturas — *Rocha (Manuel).*

Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1954, vol. 1, págs. 20.

C. D. 624.041.2

O método dos deslocamentos dos nós (Gehler), do Prof. Bomfim Barreiros — *F. Correia de Araújo.*

Edições Marânus, 1954, vol. 1, págs. 16.

Separata da Revista Engenharia, n.º 17, Fevereiro-Abril 1954.

C. D. 624.042.14 : 627.82.012.4

A Subpressão nas Barragens — *J. Laginha Serafim.*

Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1954, vol. 1, págs. 243.

C. D. 624.046 : 519.2

Critical riew of the methods for the probabilistic calculation of safety — *Borges (Ferry).*

Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1952, vol. 1, págs. 6.

C. D. 624.13

A Mecânica dos Solos: Seu papel na Engenharia Civil — *Manuel Rocha.*

Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1954, vol. 1, págs. 30.

C. D. U. 624.131.4 : 624.131.6

Física dos solos — Estudo dos solos de Lisboa — *Úlpio Nascimento.*

Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1954, vol. 1, págs. 168.

C. D. 624.16 : 532.55

Perdas de carga provocados por pilares de pontes — *Lencastre (Armando).*

Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1954, vol. 1, págs. 16

C. D. 625.1/6 + 656.2

Les chemins de fer — *Pierre Devaux.*

Presses Universitaires de France, 1943, vol. 1, págs. 127.

A Bethlehem Compra do Mundo Inteiro

Para produzir anualmente os seus milhões de toneladas de aço, a Bethlehem importa de 41 países, em todo o mundo, uma enorme variedade de matérias, entre elas o cromo, estanho, tungstênio, manganês, fluorita, cânhamo, borracha, polpa de madeira e produtos químicos. Muitas delas são utilizadas diretamente na fabricação de vários tipos de aço; outras são necessárias a diversas etapas do trabalho, indispensáveis à produção de aço.

Certamente, V.S. conhece a tradição da Bethlehem, como uma das maiores usinas produtoras de aço do mundo. Mas lembre-se, também, de que essa organização é uma grande compradora em quase todos os mercados internacionais. Bethlehem Steel Export Corporation, 25 Broadway, New York 4, E. U. A. Telegramas: "BETHLEHEM, NEWYORK."

A grande usina da Bethlehem, em Sparrows Point, é a maior usina, em todo o mundo, localizada junto a um pôrto marítimo. Os produtos destinados à exportação são ali embarcados diretamente para bordo dos navios.

BETHLEHEM STEEL

Escritoriós e representantes em tôdas as principais cidades do mundo
Em Moçambique: Albino Dias de Carvalho, Lda., Lourenço Marques

C. D. 621.125

High-temperature turbine machinery for marine propulsion — *T. W. F. Brown.*

Institution of Machanical Enginieers, 15-1-954. vol. 1, págs. 38.

26th Tomas Lowe Gray Lecture.

C. D. 621.13 (02)

Manuel de l'Ingénieur de Locomotives.

Henschel & Sohn — Canel — Alemanha, vol. 1, págs.79.

C. D. 621.181.5.021/620.164.3

Creep properties of Steels utilized in high-pressure and hightemperature superheater and steam pipe pratice; Part III: Revision of Lon-time creep data for a carbon steel headerand a carbon-molybdenun steel pipe — *R. W. Ridley.*

The Institution of Mechanical Engineers, vol 5.°, págs. 7.

C. D. 621.181.5.021/620.164.3

Comparative high-temperature properties of british and american steels; A critical examination of procedures used in Britain and the United States to determine creep stresses for the desig of power plant for longlifeat high temperat. — *W. E. Bordgett and C. L. Clark; R. W. Bailey.*

The Institution of Mechanical Engineers, vol. 1, págs. 19.

C. D. 621.182/3

Inspection, Explosion and Breakdown of Boilers and Pressure Vessels — *J. Eyers.*

The Institution of Mechanical Engineers, 12-11-954, vol. 1, págs. 10.

C. D. 621.21 : 532.528

Cavitation mechanics and its relation to the design of hidraulic equipment — *Robert T. Knapp.*

The Institution of Mechanical Engineers, 18-4-952, vol. 1, págs. 16.

James Clayton Lecture.

C. D. 621.311.1 (469)

Electrificação Nacional (seu problema) — *José Rui Magalhães Bastos San-Romão.*

1946, vol. 1.

C. D. 621.311.22

Rapid Starting Technique: some significant tests at poole power station — *J. S. Hall and A. F. Brittin.*

The Institution of Mechanical Engineers, vol. 1, págs. 12.

C. D. 621.331 : 625.1 (46)

Plan de Electrificación — De 4 211 kilómetros de via simples, de ancho normal, a realizar en doce anualidades — *Pedro González Bueno.*

Revista de Obras Públicas (Madrid 1945), vol 1, págs. 19.

C. D. 621.396. (021)

Rádio From Start To Finish — *Franklin M. Reck.*

Thomas y Crowell Company, 1942, vol. 1, págs. 160.

C. D. 621.396.932.1

Radio Direction-Finding and Navigational Aids (German Work in 1944-45).

His Majesty's Stationey Office, 1951, vol. 1, págs. 92.

Existem dois exemplares.

C. D. 621.43 08

The performance of a type of swirl atomizer — *A. Radctiffe.*

The Institution of Mechanical Engineers, vol. 1, págs. 10.

C. D. 621.432.4 : 532.54

Air flow in a naturally aspirated two-stroke engine — *F. J. Wallace* e *M. H. Nassif.*

The Institution of Mechanical Engineers, 6-954, vol. 1, págs. 23.

C. D. 621.434/8 : 629.135

The aviation engine — *F. R. Bancks.*

The Institution of Mechanical Engineers, 16-2-951, vol. 1, págs. 15.

James Clayton Lecture.

C. D. 621.436-4

The effect of auxiliary fuels on the smoke-limited power output of Diesel engines — *L. D. Derry, E. M. Dodds, E. B. Evans* e *D. Royle.*

The Institution of Mechanical Engineers, 8-1-954, vol. 1, págs. 7.

C. D. 621.486 — 4

An experimental investigation in to the effect of fuel addition to intake air on the performance of a compression ignition engine — *W. T. Lyn.*

The Institution of Mechanical Engineers, 8-1-954, vol. 1, págs. 17.

C. D. 621.9.041

The Fundamental Geometry of Cutting Tools — *G. V. Stabler.*

The Institution of Mechanical Engineers, vol. 1, págs. 10.

C. D. 621.9.041

The Effect of Speed and Feed on the Mechanics of Metal Cutting — *B. T. Chao and G. H. Bisacre.*

The Institution of Mechanical Engineers, vol. 1, págs. 11.

C. D. 621.9.041

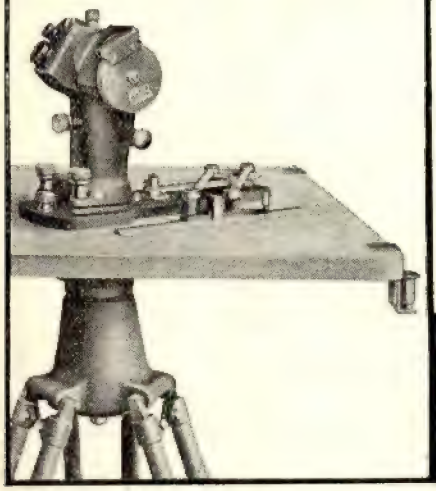
Some Factors Affecting Wear on cement carbid tools — *M. Trent.*

The Institution of Mechanical Engineers, vol. 1. págs. 8.

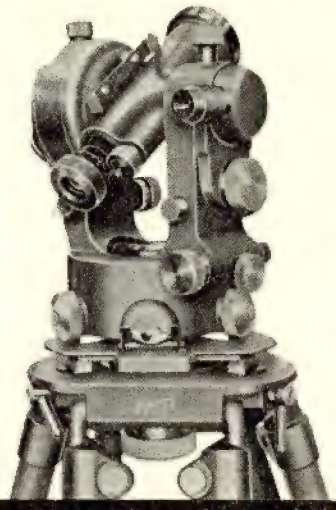
Modernos
INSTRUMENTOS GEODÉSICOS
KERN
— FABRICO SUIÇO —

Para um trabalho mais simples, mais preciso, mais rápido e menos árduo...

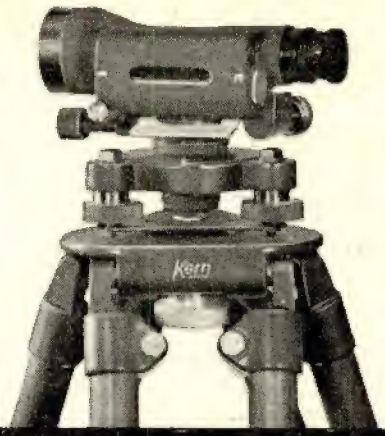
ALIDADES



TEODOLITOS



NÍVEIS



Kern AARAU

SEMPRE PARA ENTREGA IMEDIATA NOS REPRESENTANTES

EMÍLIO DE AZEVEDO CAMPOS & C.A, L.DA

PORTO — CASA FUNDADA EM 1854 — LISBOA

OFICINAS E LABORATÓRIOS
DO
INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

As oficinas pedagógicas do Instituto Superior Técnico, de CARPINTARIA DE MOLDE, de INSTRUMENTOS DE PRECISÃO e de ELECTROTÉCNICA, fornecem todo o género de material escolar e de demonstração para o ensino técnico. Nos laboratórios de QUÍMICA ANALÍTICA, FÍSICA INDUSTRIAL E DE MINERALOGIA executam-se análises para o público

Para quaisquer informações, dirigir-se ao secretário da comissão executiva

C. D. 625.142.4

Traverses en béton et chemin de fer moderne — *Roger Soneville.*

Imp. Herissey (Evreux), 1953, vol. 1, págs. 24.

C. D. 625.143.54

A fixação dos carris às travessas — *H. Robert Lévi.*

1953, vol. 1 págs. 9.

C. D. 626/627 (058)

Anuário dos serviços hidráulicos.

Imprensa Nacional, 1950-1 e 1951-2, vol. 30, págs. 213.

C. D. 626.8.001.2

Plano de Estudo e Obras de Hidráulica Agrícola.

Assembleia Nacional, 1938, vol. 1, págs. 99.

C. D. 627.844 : 532.595

Transmission of water-hammer pressures through surge tanks — *O. C. Zienkiewicz and P. Hawkins.*

The Institution of Mechanical Engineers, vol. 1, págs. 11.

C. D. 628.2/3

Sewerage and Sewage Treatment — *W. A. Hardenberge.*

International Textbook Co., 1946, vol. 1, págs. 454.

C. D. 629.11.012.55 + 629.113 — 592

The Skid-resisting Properties of Roads and Tyres. Experimental Investigations on the Braking Performance of Motor Vehicles — *G. Grime* e *H. J. H. Starks* e *R. D. Lister.*

Institution of Mechanical Engineers, 9-11-954, vol. 1, págs. 28.

C. D. 629.135 : 621.434/8

The aviation engine — *F. R. Banks.*

Institution of Mechanical Engineers, 16-2-951, vol. 1, págs. 15.

James Clayton Lecture.

C. D. 629.135.3

Guided Missiles — *G. W. H. Gardner.*

Institution of Mechanical Engineers, 19-11-954, vol. 1, págs. 12.

James Clayton Lecture.

C. D. 669.13

Nodular Cast Iron — Its present position and future prospects as an engineering material, wite special reference to its suitability for crankshafts — *S. B.*

The Institution of Mechanical Engineers, vol. 1, págs. 16.

C. D. 621.436.3.001.5

Significant contributions of the Diesel Research Laboratory — *C. G. A. Rosen.*

The Institution of Mechanical Engineers, 14-11-950, vol. 1, págs. 20.

James Clayton Lecture.

C. D. 621.438

Corrosion aspects of the vanadium problem in gás turbines — *S. H. Frederick and T. F. Eden.*

The Institution of Mechanical Engineers, vol. 1, págs. 8.

C. D. 621.438 — 226.3 [536.25]

Convective heat transfer to gas turbine blade surfaces *D. G. Wilson* e *J. A. Pope.*

The Institution of Mechanical Engineers, 8-954, vol. 1, págs. 16.

C. D. 621.438 — 44 : 629.12

Fuel systems and controls for marine gas turbines — *R. F. Darling.*

The Institution of Mechanical Engineers, 27-11-953, vol. 1, págs. 9.

ARTIGOS DE REVISTAS

C. D. 532.54

Hydraulic Jump in Prismatic Channels Determination of Conjugate Depths — *W. Frazer.*

Engineering, 14-1-955, vol. 179, n.º 4642, pág. 46-7.

C. D. 533.6

Metering Pulsating Flow — Coefficients for Sharp-edged Orifices — *J. M. Zareck.*

Engineering, 7-1-955, vol. 179, n.º 4641, pág. 17-9.

C. D. 539.319.001.4

The Shear Centre of Beam Sections Experimental Determination — *N. S. J. Grassam.*

Engineering, 14-1-955, vol. 179, n.º 4642, pág. 45.

C. D. 546.32

Em demanda do Potássio — *Abilio Martins.*

Brotéria, 12-54, vol. 59, n.º 6, pág. 523-34.

C. D. 547.322.52 : 66

Las fibras de cloruro de polivinilo no sobreclorado y sus aplicaciones industriales — *Isidro Rins Sintes.*

Revista Industrial e Fabril, 9-54, vol. 9, n.º 96, pág. 494-496.

C. D. 621.13 : 621.165

La Locomotive a Vapeur n'a pas dit son dernier mot — *Pierre Penaroz.*

Science et Vie, 1-55, vol. 87, n.º 448, pág. 116-8.

C. D. 621.311.21 : 621.24

Oberhasli Power Schemes — Electrical Developments in the Haslital Valley, Switzerland

Engineering, 7-1-955, vol. 179, n.º 4641, pág. 13-6; 14-1-955, vol. 179, n.º 4642, pág. 50-2.

C. D. 621.397

La Télévision en Spirale — *Charles Girard.*
Science et Vie, 1-55, vol. 87, n.º 448, pág. 101-4.

C. D. 621.438 — 4

Annular Combustion for Turbine Engines — *M. A. Stokes.*
The Aeroplane, 14-1-955, vol. 88, n.º 2269, pág. 48-52.

C. D. 621.744.5

Precision Casting by tue Lost-Wax Process — Developments in the Technique from 1949 to 1953 — *J. S, Turnball.*
Engineering, 7-1-955, vol. 179, n.º 4641, pág. 22-4.

C. D. 621.82 : 539.433

Shaft Resilience in Servo-Mechanisms Methods of Compensating its Effects — *David Morris.*
Engineering, 10-12-954, vol. 178, n.º 4637, pág. 756-8

C. D. 621.83 + 621.9.043

Gear Cutting and Measuring are Main Topics at AGMA Meeting — *Thomas Mac New.*
Automative Industries, 1-12 954, vol. 3, n.º 2, pág. 54-5 + 116-8.

C. D. 621.83 : 531.7

The Measurement of Gears.
Engineering, 17-12-954, vol. 178, n.º 4638, pág. 789-92.

C. D. 621.85 [629.12]

Amarras — Apontamentos extraidos de vários autores nacionais e estrangeiros, em especial de «Knight's Modern Scamanship» e de «Merchant Marine Officers Handbook», confirmados pela prática — *Ambar Pitta.*
Neptuno, 8-53 a 12-54, vol. 29, n.º 201, pág. 25-9.

C. D. 621.9 — 5 : 629.113

Machine Tool Automation for Pontiac V-8 Production — *Thomas Mac New.*
Automative Industries, 1-12-954, vol. 3, n.º 2, pág. 56-60 + 110.

C. D. 621.9 — 5 : 629.113

Sectionized Automation Applied to Huge Transfer Machine.
Automative Industries, 1-12-954, vol. 3, n.º 2, pág. 48-9 + 106.

C. D. 621.933 : 669.79

Drilling Titanium — Effects of Drill Shape, Speed Feed and Cutting Fluic.
Engineering, 14-1-955, vol. 179, n.º 4642, pág. 48-9,

C. D. 621.944 — 5

Photo-Electric Controls in a Rolling Mill Two Operations Rendered Automatic — *T. W. Brady.*
Engineering, 17-12-954, vol. 178, n.º 4638, pág. 788-89.

C. D. 629.13 : 533.013

Le Hurel-Dubois 32 Sera l'Autocar del'Air — *Edmond Blanc.*
Science et Vie, 1-55, vol. 87, n.º 448, pág. 111-5.

C. D. 632.95

La investigación de nuevos insecticidas — *Francisco Pascual Raga* y *José Lópes Fernández.*
Ion, 11-54, vol. 14, n.º 160, pág. 645-648.

C. D. 669.295.5.04 : 539.2

Hardness and microstructure of an alpha-beta titanium alloy quenched from temperatures in the range 600º — 1000º C. — *A. Greenwood* e *W. Evans.*
Metallurgia, 3-954, vol. 49, n.º 293, pág. 124-6.

C. D. 696.6

La part de l'installation electrique dans l'effort de productivité du bâtiment — *R. Comtet.*
Annales de l'Institute Technique du Batiment e des Travaux Publico, 10-954, n.º 82, pág. 939-950.

C. D. 631.3.003.1 (42)

Agricultural Machinery — World demand revives.
Engineering, 19-3-954, vol. 177, n.º 4 599, pág. 362-365.

C. D. 636

How to make movey at the race track.
Excavating Engineer, 8-954, vol. 48, n.º 8, pág. 30.

C. D. 725.826

Le stade d'honneur de Casablanca — *A. Dangleterre, H. Lossier.*
Annales de l'Institut Technique du Batiment e des Travaux Publics, 10-954, n.º 82, pág. 899-918.

C. D. 727.8

Biblioteca Central de Lucerna — *Otto Dreyer.*
Informes de la Construccion, 11-953, n.º 53.

C. D. 728 : 614.8

Accidents in the home — Over 5.000 killed each year— Causes and prevention — *Winifred Duncan.*
Building Digest, 10-953, vol. 13, n.º 10, pág. 348.

C. D. 728.1

Housing provision for old age.
Building Digest, 11-953, vol. 13, n.º 11, pág. 370.

C. D. 728.28

The pros and cons of multi-story housing.
Building Digest, 11-953, vol. 13, n.º 11, pág. 375.

C. D. 728.7

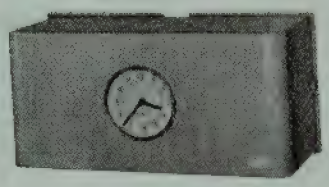
A rattlesnake in the desert.
Building Digest, 10-953, vol. 13, n.º 10, pág. 343.

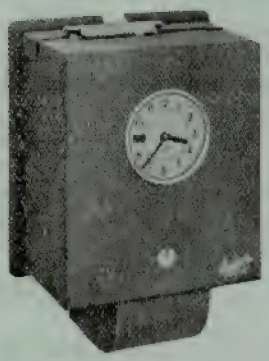
PENSE em Ericsson

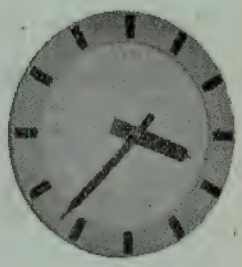
quando a hora certa é um problema!

Nos Escritórios, Fábricas, Colégios, Quartéis, Estações de Embarque de Passageiros, Casas de Saúde, Repartições Públicas, o SISTEMA ERICSSON auto-regulado resolve o problema da hora certa e uniforme.

- **Relógio MESTRE Ericsson.**
- **Relógios Ericsson para contrôle de ponto.**
- **Relógios secundários Ericsson.**
- **Dispositivo para programas de sinalização.**







Outros produtos Ericsson:

- Sistemas telefónicos de todos os tipos
- Sistemas de telesinalização
- Sistemas de radiocomunicações e sonorização
- Diversa aparelhagem telefónica e eléctrica

SOCIEDADE ERICSSON DE PORTUGAL, L.DA

RUA FILIPE FOLQUE, 7, 1.º

LISBOA

Telefone (P P C - 2 linhas) — 57193 • Telegramas: ERICSSON

Cimento «Liz» hidrofugado «N»

PRÓPRIO PARA

IMPERMEABILIZAÇÃO DE OBRAS

REBOCOS, FUNDAÇÕES, PAREDES, ETC.

Substitue com vantagem de ordem técnica e económica todos os impermeabilizadores conhecidos.

Em sacos de papel de 50 quilos

Peçam instruções para o seu emprêgo

Sede: Rua do Cais de Santarém, 64, 1.º — LISBOA
Filial: Rua de Santo António, 190-A, 1.º — PORTO

Agentes em todo o País

EMPRESA ELECTRO CERÂMICA — S. A. R. L.

Candal — Gaia

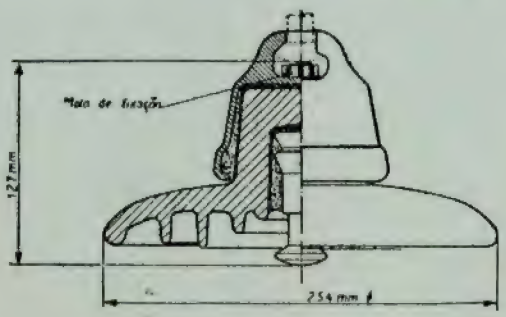
ISOLADORES DE CADEIA

Para suspensão

Tipo ACS 25

Este isolador é igual ao tipo I. B. S. 99 da firma inglesa Taylor Tunnicliff & Co., Ltd., por acordo com a qual o fabricamos

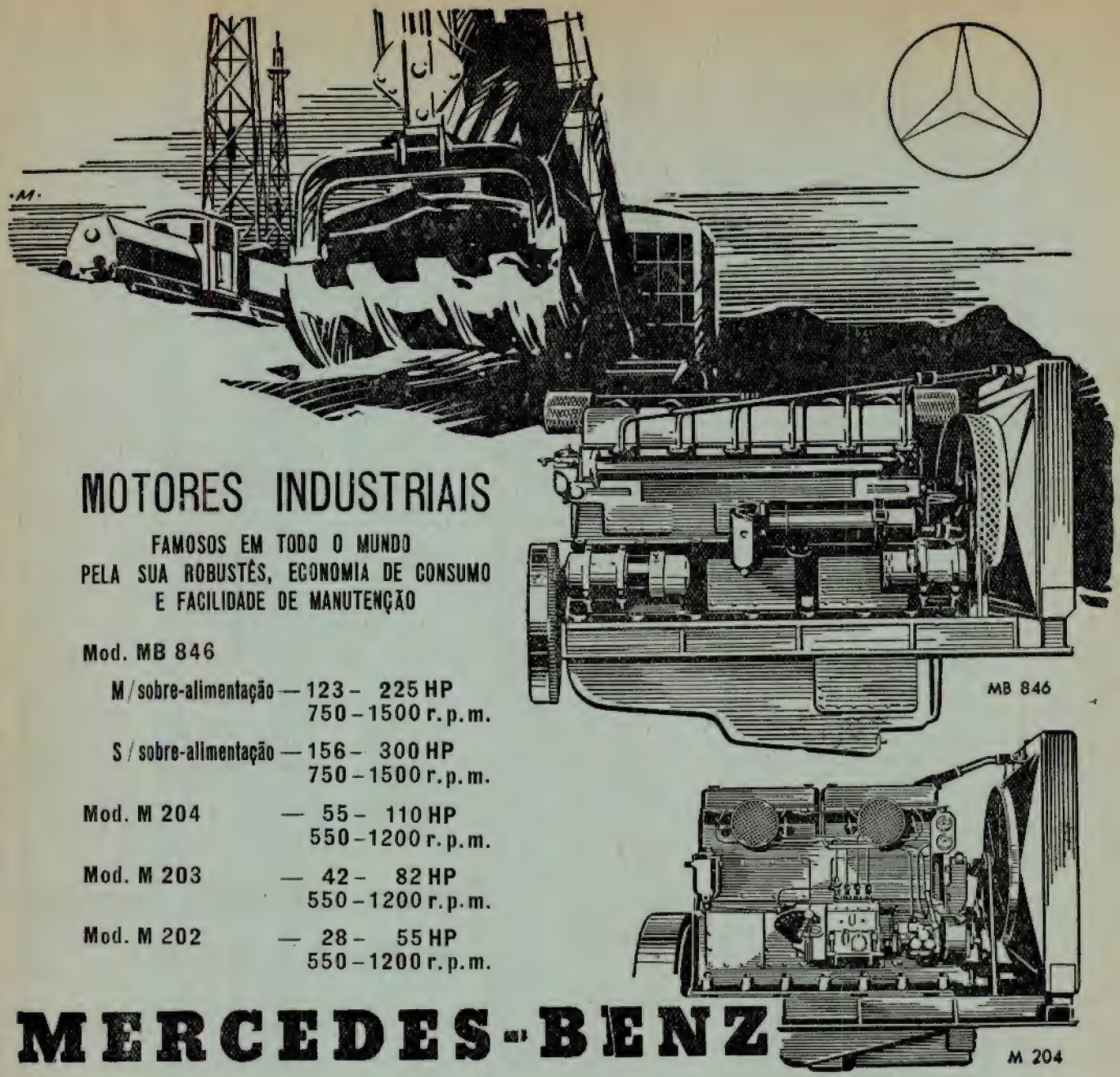
Peso aproximado:
4,3 kg cada elemento



Materiais

Porcelana vidrada em castanho.
Campânulas de ferro fundido maleável, galvanizadas por imersão a quente.
Hastes de aço macio galvanizadas por imersão a quente.
Molas de fixação de bronze fosforoso.

Sede — Largo Barão de Quintela, 3 — LISBOA



MOTORES INDUSTRIAIS

FAMOSOS EM TODO O MUNDO
PELA SUA ROBUSTÊS, ECONOMIA DE CONSUMO
E FACILIDADE DE MANUTENÇÃO

Mod. MB 846

M/sobre-alimentação — 123 - 225 HP
750 - 1500 r.p.m.

S/sobre-alimentação — 156 - 300 HP
750 - 1500 r.p.m.

Mod. M 204 — 55 - 110 HP
550 - 1200 r.p.m.

Mod. M 203 — 42 - 82 HP
550 - 1200 r.p.m.

Mod. M 202 — 28 - 55 HP
550 - 1200 r.p.m.

MERCEDES-BENZ

DIESEL

- Motores a 4 Tempos
- Arrefecimento por Água
- Antecâmara de Combustão

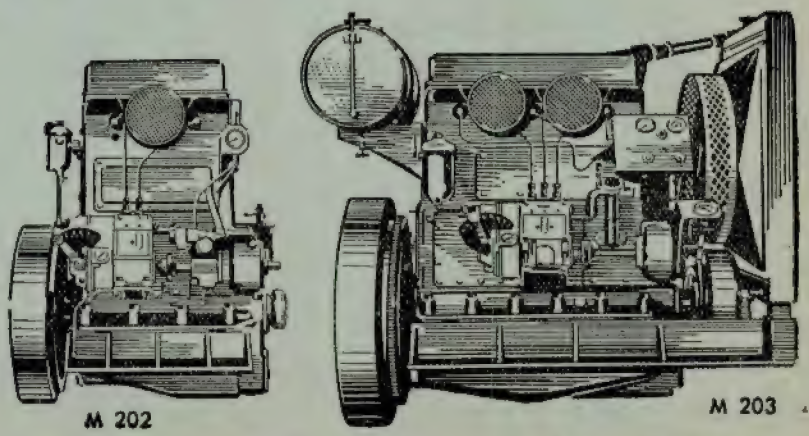
Para todas as aplicações industriais

Representantes

C. SANTOS LDA.

DIVISÃO MARÍTIMA E TÉCNICA

Trav. da Glória, 17 a 19-A
LISBOA



MÁRMORES

aos melhores preços

Em todas as aplicações

A MAIOR PRODUÇÃO DO PAÍS

Pedidos à

Sociedade dos Mármores de Portugal, L.da

Rua de S. Domingos de Benfica, 63

LISBOA

TABELAS DE BETÃO ARMADO

PELO

Eng.º Vasco Costa

PREÇO 120$00

Desconto de 10 % para os assinantes

EDIÇÃO DA *TÉCNICA*

SONDAGENS RÓDIO, L.DA

LISBOA

RUA S. MAMEDE AO CALDAS, 22, 3.º

Telefones: 2 8685 - 2 6865 ✦ Telegramas: SETANSOL

SONDAGENS GEOLÓGICAS
ESTUDOS GEOTÉCNICOS
ESTACAS GUNITA
CAPTAÇÃO DE ÁGUAS
CONGELAÇÃO DO TERRENO
IMPERMEABILIZAÇÃO DE OBRAS HIDRÁULICAS
CONSOLIDAÇÃO DE FUNDAÇÕES
ABAIXAMENTO DO LENÇOL DE ÁGUA

—//—

Sócio gerente: **Walter Weyermann**-Eng. civil

Sociedade de Pesquisas, Captações de Agua e Transportes, L.da

FUNDIÇÃO E CONSTRUÇÃO MECÂNICAS

S. A. R. L.

OEIRAS

Uma grande organização na «Indústria Metalúrgica e Metalomecânica nacional»

Com **Fábrica** onde se produz:

Fundição de ferro, Ferros Ligas e Metais, Esmaltes — Esmaltagem

OFICINAS DE SERRALHARIA E FORJAS

Alguns artigos de série:

Banheiras de ferro fundido esmaltado — Todos os artigos sanitários para casa de banho e cozinha — Caldeiras e radiadores para aquecimento central — Salamandras — Fogões e fogareiros a gás — Fogões a lenha e carvão — Escadas e escadotes — Tábuas de engomar — Material para construção civil (aros para claraboias, sifões de pátio, ventiladores, portinholas, olhos de boi, autoclismos, etc.) — Bancos de jardim — Candeeiros para iluminação pública, etc.

PROJECTOS, ORÇAMENTOS E EXECUÇÃO DE INSTALAÇÕES E AQUECIMENTO CENTRAL

Vendas directas ao comércio da especialidade

Telefones:
Serviços 043 324 a 043 327
Administração 043 156
Secção Aquec. 4 1110 - 45301

Teleg. Fundição — OEIRAS

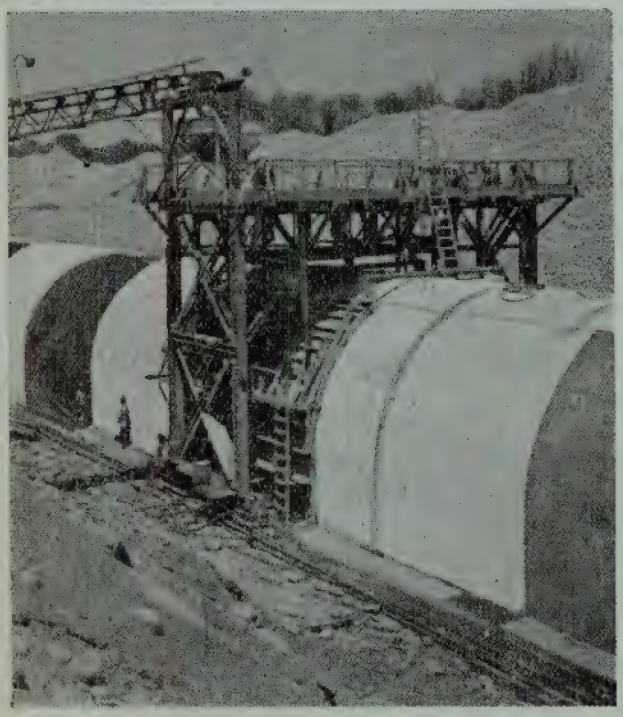
Correio: Apartado 711
LISBOA — CENTRAL

SECÇÃO DE AQUECIMENTO

Av. António Augusto de Aguiar, 7-A

Telefone 4 1110

CIMPHIL



CONDUTA

Não esqueça que o melhor Técnico será aquele que melhor souber aplicar os produtos que a ciência põe ao seu dispor.

«CIMPHIL»

É o verdadeiro hidrófugo retentor da água no betão.

É um produto usado nos Estados Unidos e na Europa.

Usar **«CIMPHIL»** é acompanhar a evolução dos novos métodos de trabalho na construção civil.

Peçam instruções técnicas aos

Distribuidores

No Centro e Sul	No Norte
V. T. Martins	**Blackett & C.ª, L.da**
R. da Prata, 59, 3.º E.	R. da Nova Alfândega, 22
Telef. 23 690	Telef. 2 1407
LISBOA	PORTO

Fábrica Portugal

S. A. R. L.

LISBOA

MOBILIÁRIO METÁLICO

EM TODOS OS GÉNEROS

Instalações completas para :

Mobiliário moderno
para

ESCRITÓRIOS
ESCOLAS
BIBLIOTECAS

CLÍNICAS
HOSPITAIS
SANATÓRIOS
CINEMAS
HOTÉIS
ESPLANADAS

SALAS DE EXPOSIÇÕES :

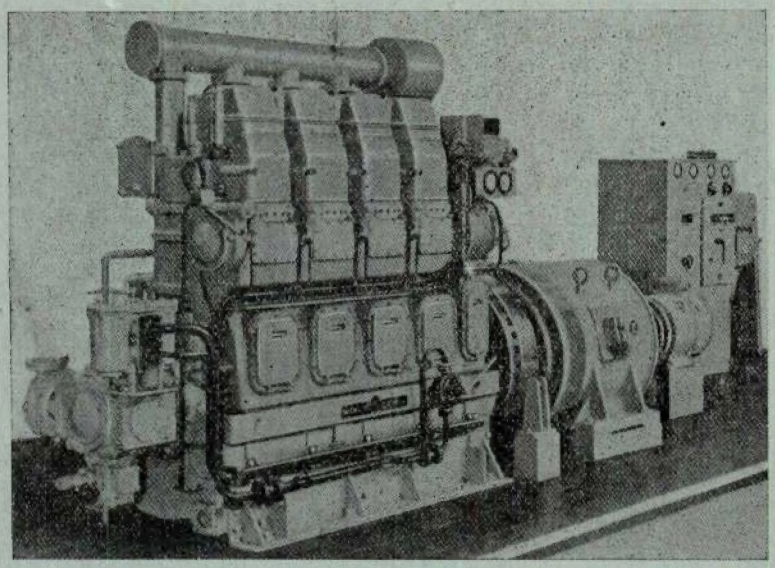
Rua Febo Moniz, 2 a 20 — Praça dos Restauradores, 49 a 57
Avenidas da República e Elias Garcia — Rua da Graça, 82 e 84

MOTORES DIESEL INDUSTRIAIS

'ENGLISH ELECTRIC'

Os motores **Diesel** a quatro tempos, tipo RK, da «The English Electric Company Limited», largamente utilizados em geradoras, estações de bombagem e, de um modo geral, em instalações industriais como potências superiores a 200 HP, são unidades de 4, 5, 6, 7 e 8 cilindros construídas para funcionamento entre 600 e 750 r. p. m.

Na figura vê-se um grupo com motor de 300 HP, alternador de 208 KW, excitatriz e quadro de comando.



Representantes exclusivos para Portugal e África Ocidental Portuguesa:

MONTEIRO GOMES, LIMITADA

R. Cascais, 47 (Alcântara)
LISBOA
Telefone 37083

R. do Almada, 262-1.º
PORTO
Telefone 25021

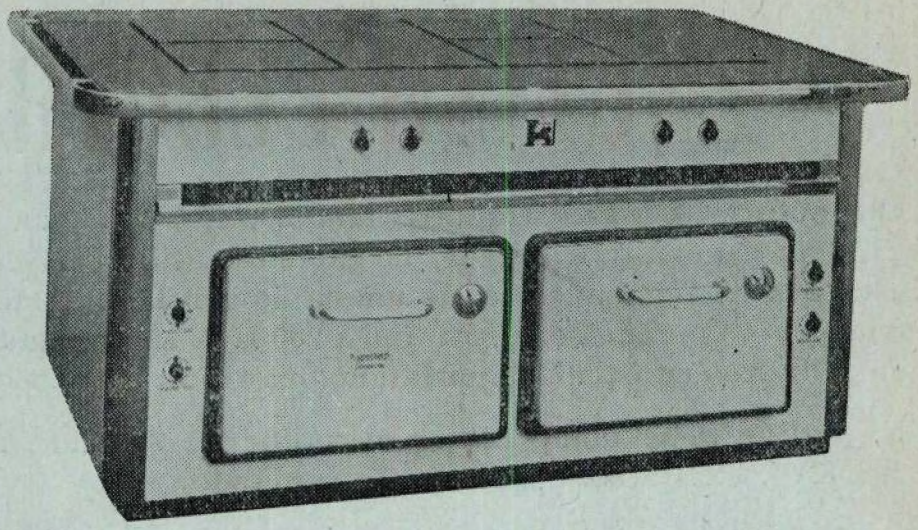
E

VILA FRANCA DE XIRA

LUANDA

F. KÜPPERSBUSCH & SÖHNE

FORNECEDORES
DA
COZINHA
DO
HOSPITAL
ESCOLAR
DE
LISBOA



FOGÕES INDUSTRIAIS

REPRESENTANTES

AZEVEDO & PESSI, L.DA

Rua Nova do Almada, 46 — LISBOA — Telefs. 2 0354 - 2 4495 - 2 9879

- Isolamentos térmicos, acústicos e contra fogo.
- Purgadores para vapor de todos os tipos.
- Válvulas de passagem para vapor.
- Válvulas reguladoras de temperatura de vapor, água e ar.
- Válvulas redutoras de pressão de vapor e água.
- Aparelhos de tratamento de água.
- Tubo metálico flexível em tombaque.
- Reguladores de combustão para caldeiras de aquecimento central.
- Cimentos e plásticos refractários.

Pedidos a

BOUHON & IRMÃO, LTD.

Em Lisboa: Avenida Júlio Dinis, 26, r/c Esq.
Telef. 773603 e 778685

No Porto: Rua Antero de Quental, 615
Telef. 40124

MATERIAL ELÉCTRICO

para instalações de alta e baixa tensão

•

ESPECIALIDADES **GARDY:**

Corta-circuitos e cartuchos de alto poder de corte
Disjuntores para força motriz e iluminação
Disjuntores de calibres variáveis
Disjuntores MINIHUILLE, até 35 kV
Dispositivos de corte em carga para seccionadores, etc.

REPRESENTANTE:

ANTÓNIO BARÓ

Rua da Assunção, 99-2.º-Dt.º

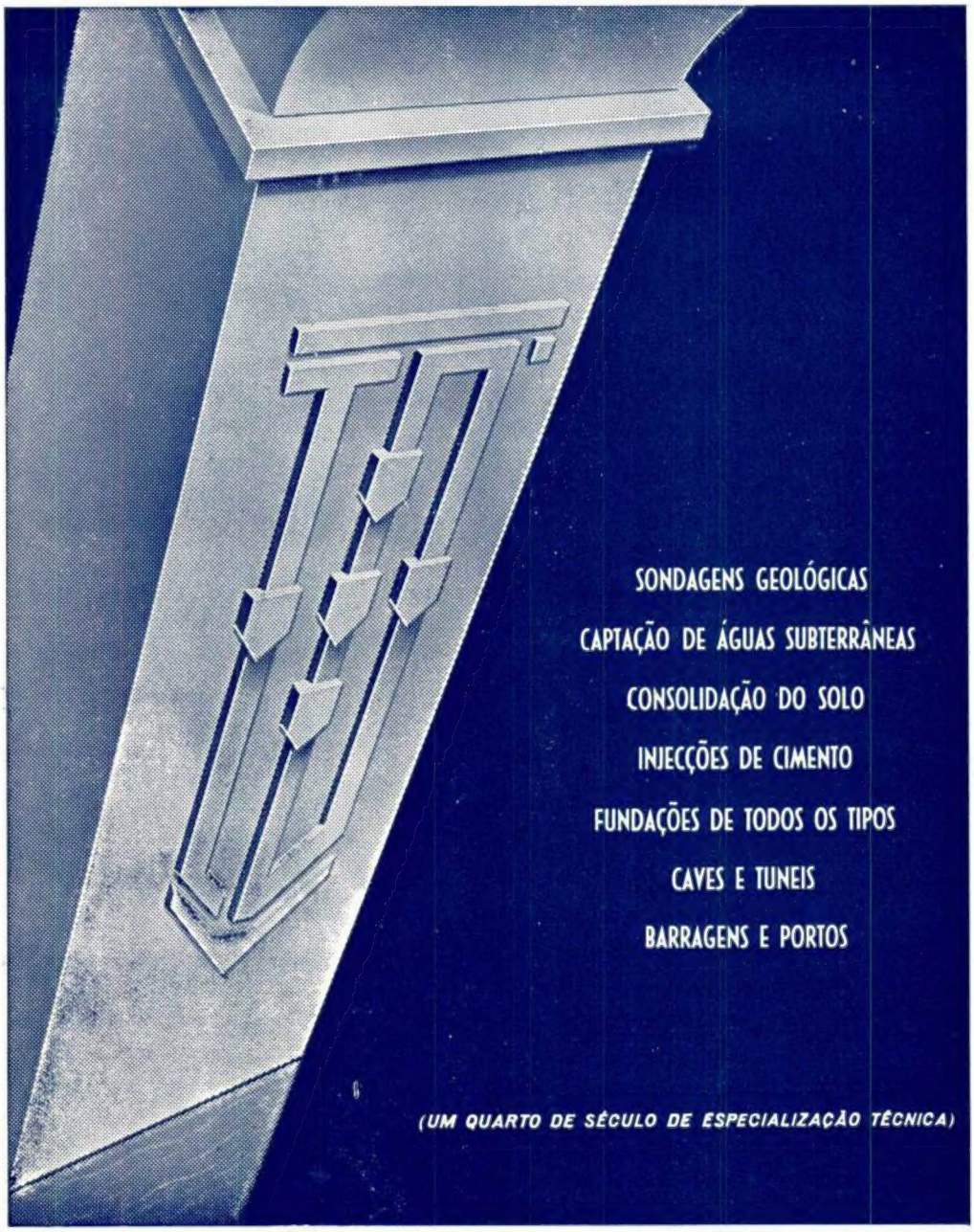
LISBOA

Empresa de Sondagens e Fundações

TEIXEIRA DUARTE, L.DA

PR. DA FIGUEIRA, 18. 3.º
TELEF. 3 2774

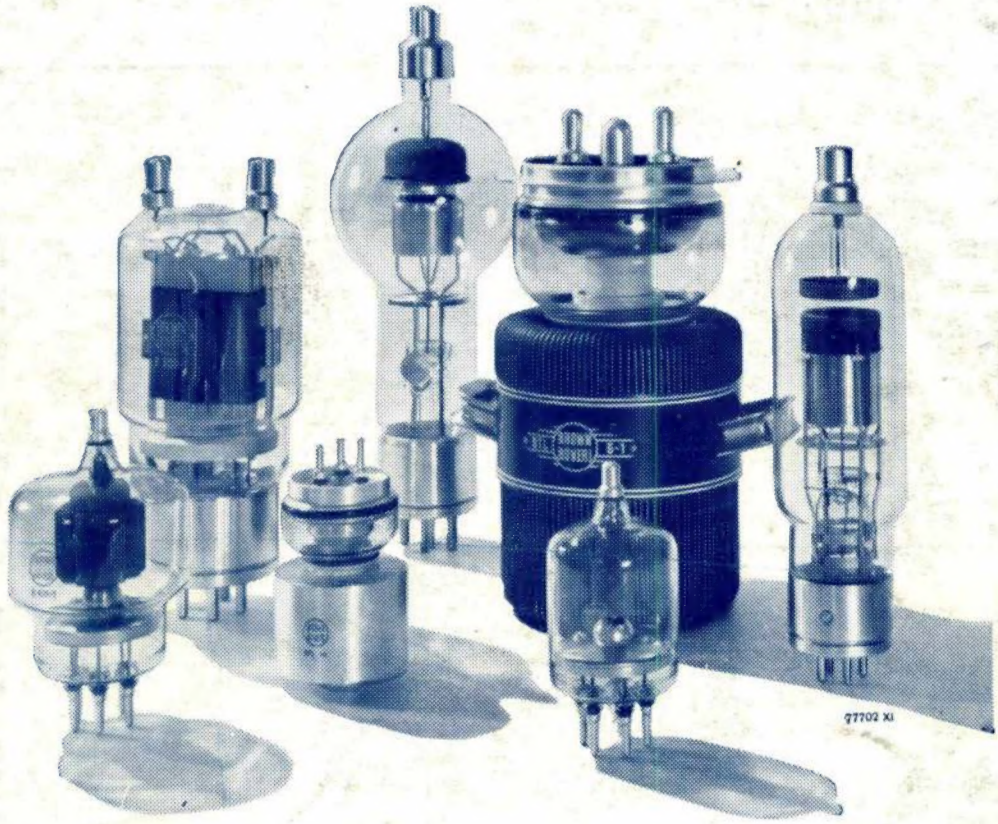
LISBOA



SOCIEDADE ANÓNIMA

BROWN, BOVERI & CIE.

BADEN (SUÍÇA)



Fornece não só material eléctrico para centrais, postos de transformação, caminhos de ferro, electrificação de fábricas, mas também postos emissores de rádiofonia e rádiotelegrafia, instalações de ondas dirigidas, aparelhos e válvulas electrónicas para todos os usos industriais. Válvulas em armazém.

Representante geral em Portugal:

EDOUARD DALPHIN

Rua de Sá da Bandeira, 481- 2.° (Palácio do Comércio) PORTO